



SKRIPSI - 141501

**PENGARUH PENGGUNAAN AIR DALAM BAHAN BAKAR EMULSI
BIODIESEL MINYAK KELAPA SAWIT (*CRUDE PALM OIL*)
TERHADAP PERFORMA, NO_x, DAN PROSES PEMBAKARAN
(*COMBUSTION PROCESS*) PADA MESIN DIESEL**

**Reggi Irdian Kuspriyanto
0421144000031**

**Dosen Pembimbing :
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D**

**Dosen Pembimbing :
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS - 141501

THE EFFECT OF WATER IN BIODIESEL FROM PALM OIL (*CRUDE PALM OIL*) EMULSION TOWARDS PERFORMANCE, NO_x, AND COMBUSTION PROCESS ON DIESEL ENGINE

Reggi Irdian Kuspriyanto
0421144000031

Academic Supervisor :
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D

Academic Supervisor :
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D

MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Penggunaan Air Dalam Bahan Bakar Emulsi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Terhadap Performa, NO_x , Dan Proses Pembakaran (*Combustion Procces*) Pada Mesin Diesel

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Reggi Irdian Kuspriyanto
NRP. 0421 14 40 000 031

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi :

Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.
NIP. 1979 0319 2008 01 1008

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D
NIP. 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Pengaruh Penggunaan Air Dalam Bahan Bakar Emulsi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Terhadap Performa, NO_x, Dan Proses Pembakaran (*Combustion Process*) Pada Mesin Diesel

Skripsi

Disajikan untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem
Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

Beggi Irdian Kuspriyanto
NRP. 042114 40 000 031

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Hadrus Zaman, ST, MT
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

Surabaya
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Pengaruh Penggunaan Air Dalam Bahan Bakar Emulsi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Terhadap Performa, NO_x, Dan Proses Pembakaran (*Combustion Procces*) Pada Mesin Diesel

Nama Mahasiswa : Reggi Irdian Kuspriyanto
NRP : 04211440000031
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Ketersediaan bahan bakar fosil untuk pengoperasian motor diesel kini semakin berkurang. Disamping itu, permasalahan lingkungan terkait global warming, salah satunya tentang polusi udara sangat mengkhawatirkan. Penggunaan minyak kelapa sawit sebagai bahan bakar dapat menjadi salah satu jalan keluar berkurangnya ketersediaan bahan bakar fosil untuk pengoperasian mesin diesel. Penggunaan biodiesel minyak kelapa sawit memiliki kadar emisi NO_x yang cukup tinggi. Penambahan air pada bahan bakar dapat memberikan jawaban untuk mengurangi emisi NO_x hasil pembakaran mesin diesel.

Penelitian ini membahas pemanfaatan minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dan penambahan air dalam bahan bakar. Pengujian dilakukan dengan cara eksperimen menggunakan beberapa variasi bahan bakar. Variabel bahan bakar emulsi yang digunakan adalah bahan bakar emulsi 10% & 15 %. Analisa yang dilakukan meliputi performa, hasil proses pembakaran serta emisi NO_x bahan bakar emulsi. Dari hasil pengujian performa pada mesin diesel, penggunaan bahan bakar emulsi 10% dan emulsi 15% menghasilkan performa lebih rendah dari bahan bakar B20 kelapa sawit maupun Dexlite, nilai SFOC kedua bahan bakar tersebut 377,3 gr/kWh dan 410,4 gr/kWh. Dari hasil pengujian proses pembakaran, didapatkan bahan bakar emulsi 10% dan 15% mempunyai ignition delay yang lebih lama pada *combustion pressure* peak yang lebih rendah daripada bahan bakar B20 dan Dexlite. Emisi bahan bakar emulsi 10% dan emulsi 15% memiliki NO_x sebesar 2,6 gr/kWh dan 2,5 gr/kWh pada putaran 2200RPM dan beban 100%.

Kata kunci : Biodiesel minyak kelapa sawit, Bahan Bakar Emulsi, Performa motor, Proses Pembakaran, Emisi, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

THE EFFECT OF WATER EMULSION IN BIODIESEL FROM PALM OIL (CRUDE PALM OIL) TOWARDS PERFORMANCE, NOX, AND COMBUSTION PROCCES ON DIESEL ENGINE

Name : Reggi Irdian Kuspriyanto
Registered Number : 04211440000031
Department : Marine Engineering
Academic Supervisor 1 : Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.
Academic Supervisor 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

The availability of fossil fuels for the operation of diesel engine is now diminishing. The environmental issues related to global warming, one of them about air pollution is very worrying. The use of palm oil as a fuel can be one way out the reduced availability of fossil fuels for the operation of diesel engines. The use of palm oil biodiesel has high levels of NO_x emissions. The addition of water to the fuel can provide an answer to reduce the NO_x emissions of diesel engine. This study discusses the utilization of crude palm oil and the addition of water in fuel. This experiment using several variations of fuel. The emulsion fuel variables used are DWE 10% & 15%. The analyzes include performance, combustion process and NO_x emissions. From the results of performance testing on diesel engines, the use of DWE 10% and 15% resulted in lower performance than B20 palm oil and Dexlite, the value of SFOC both fuel is 377.3 gr / kWh and 410.4 gr / kWh . From the combustion test results, DWE 10% and 15% has a longer ignition delay in combustion pressure peak which is lower than B20 and Dexlite fuel. DWE 10% and 15% have NO_x of 2.6 g / kWh and 2.5 g / kWh at 2200RPM at 100% Load.

Keywords : Biodiesel Palm oil, Water Diesel Emulsion, Motor Performance, Combustion Process, Emissions, NO_x

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah S.W.T. karena berkat limpahan rahmat, hidayah dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Penggunaan Air dalam Bahan Bakar Emulsi Biodiesel Minyak Kelapa Sawit Terhadap Performa, NOx dan Pembakaran pada Mesin Diesel”** ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tidak lepas dari doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta kakak penulis, Supriyantoko, Kuswadah S.Pd., Yuanita Devy Kuspriyanti, dan Arizal Hadiahtullah Dwi Kuspriyanto yang selalu memberikan doa, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D. serta Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng., Ph.D., yang selalu mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Ir. Agoes Santoso M.Sc., MPhil., CEng selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis.
5. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
6. Teman-teman serta Mas dan Mbak “*Marine Power Plant Laboratory*” yang selalu membantu dan menjadi tempat bertukar pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
7. Teman-teman seangkatan “Mercusuar 14”, yang selalu mendukung dan mengingatkan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.
8. Tim “Hore”, Linggar, Bayu, Afif, Hanifan, Tio, Nandes, Novando, Misbah yang selalu menghibur penulis ketika *low motivation*
9. Maroon mania yang telah mensupport dan menghibur penulis sehingga bisa terselesaikannya tugas akhir ini
10. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, amin.

Surabaya, Juli 2018
Penulis

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Skripsi.....	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Biodiesel	6
2.2. Bahan Bakar Emulsi	9
2.3. Diesel Water Emulsion (DWE)	10
2.4 Performa, NO _x dan Proses Pembakaran	13
2.4.1. Analisa performa	13
2.4.2 Emisi NO _x	14
2.4.3. Proses Pembakaran	15
BAB III.....	19
METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Perumusan Masalah	20
3.2 Studi Literatur.....	20
3.3 Persiapan Alat dan Bahan	20
3.4 <i>Engine Set up</i> (Pra Experimen).....	27
3.5 Pengambilan Data (Eksperimen)	28
3.5.1 Uji Performa	28
3.5.2 Uji Emisi (Kadar NO _x) dan Proses Pembakaran	28
3.6 Pengumpulan Data.....	29
3.7 Analisa & Pembahasan	29
3.8 Kesimpulan & Saran.....	29
BAB IV	30
4.1 Performa Motor Diesel	31
4.1.1 Analisa Performa <i>SFOC</i> dengan Daya	31
4.1.2. Analisa Performa Daya dengan RPM.....	40
4.1.3. Analisa Performa Torsi dengan RPM.....	41
4.1.4 Analisa Performa BMEP dengan RPM	42
4.1.5. Pembahasan Analisa performa	43
4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel	43
4.2.1. Analisa <i>Pressure</i> Proses Pembakaran Motor Diesel	44
4.2.2. Analisa <i>Ignition Delay</i> Proses Pembakaran Motor Diesel	47
4.2.3. Analisa <i>Heat Release</i> Proses Pembakaran Motor Diesel.....	48

4.2.4. Analisa <i>Knocking</i> Proses Pembakaran Motor Diesel.....	51
4.2.5. Analsia <i>Rate of Heat Release</i> Pembakaran Motor Diesel.....	54
4.2.6. Analisa Proses Pembakaran.....	57
4.3Kandungan NOx Motor Diesel	58
BAB V.....	61
5.1Kesimpulan	61
5.2Saran	61
Daftar Pustaka.....	63
LAMPIRAN.....	65
Lampiran 1 : Rumus Peforma	65
Lampiran 2 : Hasil Perhitungan Peforma.....	67
Lampiran 3 : Grafik SFOC	71
Lampiran 4 : Grafik Pembakaran.....	77
Lampiran 5 : Grafik Emisi	86
Lampiran 6 : Tabel Konversi Emisi.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Varietas Kelapa Sawit Unggul	5
Gambar 2.2.	Buah kelapa sawit	7
Gambar 2.3.	Emulsi bahan bakar diesel	10
Gambar 2.4.	Jenis emulsi	11
Gambar 2.5.	Stuktur ikatan kimia Tween 80 dan Span 80	13
Gambar 2.6.	Grafik Pengaruh BMEP terhadap NOx	15
Gambar 2.7.	Pembakaran motor diesel berbahan bakar minyak dan emulsi	16
Gambar 2.8.	Pengaturan <i>Combustion Process Crude Palm Oil Biodiesel</i>	17
Gambar 2.9.	Grafik <i>Pressure vs. Crank Angle diagrams for CPO and Petroleum Diesel Combustion</i>	17
Gambar 2.10.	Grafik <i>Heat Release Rates for CPO and Diesel Combustion</i>	18
Gambar 2.11.	Grafik <i>Net heat release values for CPO and Diesel Combustion</i>	18
Gambar 3.1.	KOH dan Metanol	21
Gambar 3.2.	Proses Pengendapan	22
Gambar 3.3.	Perbedaan gliserol dengan metil ester	22
Gambar 3.4.	Metil ester minyak kelapa sawit	23
Gambar 3.5.	Bahan bakar emulsi	25
Gambar 3.6.	Bahan Bakar Emulsi B20 + 20% Air + 3% Span 80 + 3% Tween 80	27
Gambar 3.7.	Desain Eksperimen	28
Gambar 4.1.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite	31
Gambar 4.2.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar B20	32
Gambar 4.3.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Emulsi 10%	33
Gambar 4.4.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Emulsi Air 15%	34
Gambar 4.5.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1800	35
Gambar 4.6.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1900	36
Gambar 4.7.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2000	37
Gambar 4.8.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2100	38
Gambar 4.9.	Performansi <i>SFOC</i> dengan <i>Power</i> Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2200	39
Gambar 4.10.	Performansi Daya vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%	40
Gambar 4.11.	Performansi Torsi vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%	41
Gambar 4.12.	Performansi BMEP vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%	42
Gambar 4.13.	Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan beban 1000 watt	44

Gambar 4.14.	Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan 2000 watt	45
Gambar 4.15.	Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan beban 3000 watt	45
Gambar 4.16.	Grafik <i>combustion pressure</i> pada 100% RPM dan Beban 4000 watt	46
Gambar 4.17.	Grafik <i>Ignition Delay</i> pada 100% RPM	47
Gambar 4.18.	Grafik <i>Heat Release</i> pada 100% RPM dan beban 1000 watt	48
Gambar 4.19.	Grafik <i>Heat Release</i> pada 100% RPM dan Beban 2000 Watt	49
Gambar 4.20.	Grafik <i>Heat Release</i> pada 100% RPM dan Beban 3000 Watt	49
Gambar 4.21.	Grafik <i>Heat Release</i> pada 100% RPM dan Beban 4000 watt	50
Gambar 4.22.	Grafik <i>Knock Detection</i> pada 100% RPM dan Beban 1000 Watt	51
Gambar 4.23.	Grafik <i>Knock Detection</i> pada 100% RPM dan Beban 2000 Watt	51
Gambar 4.24.	Grafik <i>Knock Detection</i> pada 100% RPM dan Beban 3000 Watt	52
Gambar 4.25.	Grafik <i>Knock Detection</i> pada 100% RPM dan Beban 4000 Watt	53
Gambar 4.26.	Grafik <i>Knock Detection</i> pada bahan semua variable beban	53
Gambar 4.26.	Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM Beban 1000 Watt	54
Gambar 4.27.	Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM Beban 2000 Watt	55
Gambar 4.28.	Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM Beban 3000 Watt	56
Gambar 4.29.	Grafik <i>rate of heat release</i> (ROHR) pada 100% RPM Beban 4000 Watt	57
Gambar 4.30.	Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi.	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Karakteristik Biodiesel sesuai SNI	6
Tabel 2.2.	Bahan bakar nabati dalam alkohol dan minyak	8
Tabel 2.3.	Sifat kimiawi biodiesel dan diesel petroleum	8
Tabel 2.4.	Perbandingan metode penambahan air	9
Tabel 2.5.	Nilai HLB tipe surfaktan	12
Tabel 2.6.	Karakteristik Surfaktan Tween 80 dan Span 80	12
Tabel 2.7	Analisa data performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit	13
Tabel 2.8	Tabel Pengetesan IMO	14
Tabel 2.9	Komposisi Biodiesel	14
Tabel 2.10	Komposisi biodiesel penelitian	17
Tabel 3.1	Variasi campuran bahan bakar emulsi	23
Tabel 3.2	Bahan Bakar emulsi B20 + Air 10%	25
Tabel 3.3	Bahan Bakar emulsi B20 + Air 15%	26
Tabel 3.4	<i>MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle</i>	29

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor diesel, bahan bakar minyak, energi terbarukan dan polusi udara merupakan topik-topik yang diprioritaskan oleh banyak pihak khususnya para peneliti. Hal tersebut dilakukan untuk memberikan rekomendasi kepada pemerintah tentang teknologi terbarukan motor diesel yang ramah lingkungan. Dengan karakteristiknya yaitu efisiensi, ketahanan (*Durability*) dan kepercayaan (*Reliability*) yang tinggi, menjadikan motor diesel dapat diaplikasikan di berbagai area (*Zuhdi, 1996*).

Mesin diesel memiliki tipe pembakaran internal yang mengadsorpsi bahan bakar minyak yang disemprotkan ke dalam silinder dan dinyalakan oleh panas yang dihasilkan oleh kompresi. Syarat agar terjadinya pembakaran di dalam motor diesel terdiri dari tiga komponen yaitu bahan bakar (*fuel*), udara (*air*) serta energi panas (*heat*). Bahan bakar dapat dikatakan sempurna apabila memiliki proses pembakaran yang baik. Proses pembakaran itu meliputi penginjeksian bahan bakar, pencampuran bahan bakar dengan udara, perubahan tekanan, energi panas, knocking dan hasil gas buang.

Emisi terbentuk karena proses pembakaran bahan bakar pada mesin diesel yang terjadi di ruang bakar. Mesin diesel yang efisien memiliki tingkat karbon dioksida, karbon monoksida dan emisi hidrokarbon rendah. Namun, emisinya tinggi dalam oksida nitrat. Mesin diesel menggunakan bahan bakar yang mengandung sulfur, aspal dan abu. Karena komponen ini, emisi gas buang mesin diesel mengandung oksida belerang dan zat khusus yang terbentuk selama proses pembakaran (*Nauval, 2017*).

Untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil salah satunya menggunakan bahan bakar alternatif, salah satu yang digunakan adalah biodiesel. Biodiesel digunakan selain untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil juga digunakan untuk menaikkan cetane number. Biodiesel adalah bahan bakar hasil pencampuran dari bahan bakar minyak dan minyak nabati. Minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) merupakan salah satu sumber energi alternatif (biodiesel) dari tumbuhan kelapa yang dikembangkan sejak tahun 1992, dimana memiliki kapasitas yang besar yaitu 1 ton/jam atau 20 ton/hari. Biodiesel tersebut memiliki sifat cukup baik sebagai bahan bakar alternatif seperti halnya nilai kalor, viskositas dan bilangan setana yang mendekati sifat bahan bakar solar.

Untuk mengurangi emisi dari hasil pembakaran mesin diesel bisa menggunakan banyak cara antara lain dengan penambahan air pada bahan bakar. Penambahan air pada bahan bakar tidak bisa dilakukan secara langsung dikarenakan memerlukan perlakuan khusus dengan cara penambahan surfaktan. Penambahan surfaktan dilakukan untuk mengikat kedua cairan yang memiliki massa jenis yang berbeda. Penggunaan air di mesin diesel memiliki sejumlah manfaat, bahwa air memiliki pengaruh pada pengurangan suhu api puncak dan mengurangi emisi NOx.

Penelitian ini membahas tentang analisis performa, NOx dan proses pembakaran (*Combustion Process*) pada mesin diesel berbahan bakar emulsi. Metode dilakukan dengan cara menganalisa penggunaan air dalam bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit terhadap mesin diesel. Dengan harapan mampu memberikan hasil yang baik sehingga dapat menanggulangi ketersediaan bahan bakar dan juga mengatasi emisi yang dihasilkan dari mesin diesel.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada tiga, yaitu :

1. Bagaimana performa yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel ?
2. Bagaimana proses pembakaran (*Ignition delay, Heat Release, Knocking, Pressure*) yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel ?
3. Bagaimana emisi NO_x yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Ruang lingkup analisis performa yang meliputi SFOC, Torsi, BMEP, dan Power akibat penggunaan air dalam bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit.
2. Menganalisa kandungan emisi NO_x akibat penggunaan air dalam bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit.
3. Menganalisa Proses pembakaran (*Combustion Process*) terdiri dari proses penginjeksian (*Ignition Delay*), tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), perubahan energi panas (*Heat Release*) dan knocking (*Knocking*).
4. Variable penggunaan surfaktan maksimal 3% Span 80 dan 3% Tween 80
5. Bahan bakar emulsi paling homogen.
6. Variabel putaran pada mesin menggunakan RPM sebesar 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM dan 2200 RPM
7. Analisis proses pembakaran menggunakan alat sensor TMR-Instrument serta SYSMONSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
8. Analisis proses pembakaran dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK ITS.

1.4 Tujuan Skripsi

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapat pada perumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil performa (efisiensi dan SFOC) yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel.
2. Bagaimana proses pembakaran (*Ignition delay, Heat Release, Knocking, Pressure*) yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel
3. Bagaimana emisi NO_x yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat penambahan air pada bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit terhadap performa motor diesel.

2. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat penambahan air pada bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit pada kandungan emisi yang dihasilkan pada mesin diesel.
3. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat penambahan air pada bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit terhadap proses pembakaran motor diesel.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Semakin berkembangnya industri dunia dan peningkatan kebutuhan terhadap bahan bakar merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Selama ini, bahan bakar fosil telah menjadi bahan bakar yang umum dipakai dan tidak asing lagi dengan kehidupan kita. Ketersediaan bahan bakar tersebut untuk masa depan semakin menipis. Bahan bakar fosil pun tidak dapat diperbarui, sedangkan kebutuhan dunia akan bahan bakar semakin meningkat. Sebuah solusi dari permasalahan mengenai bahan bakar minyak yang diperkirakan akan habis dalam kurun 11 tahun mendatang adalah minyak bahan bakar dari tumbuhan, seperti contohnya minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*), minyak aren (*Arenga Pinnata*), minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas*), minyak kemiri sunan (*Aleurites Trisperma Blanco*), minyak tanaman sagu (*Metroxylon Spp*). Walaupun bahan bakar ini belum berkembang secara luas namun cukup berpotensi untuk digunakan di kawasan tertentu serta dikembangkan di berbagai wilayah Indonesia dan hanya dengan sistem pengolahan yang tradisional. (*Puslitbang Perkebunan, 2015*)

Bahan bakar nabati yang telah banyak dikembangkan dan telah digunakan dalam kawasan industri karena paling layak dan paling siap diolah yaitu biodiesel dari minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*). Sesuai peraturan Menteri ESDM No 25 Tahun 2013 bahan bakar nabati sebagai campuran dalam bahan bakar diesel sesuai yang diatur dalam peraturan. Dalam *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Indonesian Palm Oil Producers Association (Gapki) and Indonesian Ministry of Agriculture* (2015) menyatakan bahwa telah tercatat pada tahun 2015 produksi minyak kelapa sawit telah mencapai angka 31,5 juta ton metrik dan tiap tahun akan terus menunjukkan angka pertambahan.



Gambar 2.1. Varietas Kelapa Sawit Unggul
(Sumber : <http://ditjenbun.pertanian.go.id/>)

Pemerintah mengeluarkan peraturan melalui perpes nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional. Pemerintah berupaya untuk mengembangkan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar minyak fosil. Pengembangan bioenergi dari sumber bahan nabati merupakan langkah yang sangat strategis untuk mengatasi masalah tersebut. Selain itu untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Salah satu cara dengan pemanfaatan minyak dari tumbuhan untuk diolah menjadi bahan bakar nabati seperti biodiesel. (*Pranowo, dkk, 2014*).

2.1. Biodiesel

Bahan bakar alternatif yang paling umum digunakan adalah biodiesel. Biodiesel adalah suatu ester monokotil dari asal lemak rantai panjang yang berasal dari sumber yang dapat diperbarui. Seperti minyak tumbuhan dan lemak hewan, yang dapat digunakan di mesin diesel. Kandungan utama biodiesel adalah minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan methanol. Biodiesel memiliki karakteristik yang sama dengan bahan bakar diesel konvensional. Sehingga biodiesel dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel konvensional (Nathasya, 2008).

Secara umum parameter yang menjadi standar mutu biodiesel adalah densitas, titik nyala, angka setana, viskositas kinematik, abu sulfat, energi yang dihasilkan, bilangan iodin dan residu karbon. Biodiesel yang sudah dilakukan dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi harus memenuhi semua mutu SNI 7182:2012 (Pranowo, dkk. 2014).

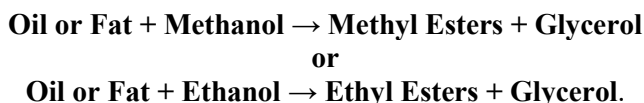
Tabel 2.1. Karakteristik Biodiesel sesuai SNI
(Sumber : Standard Biodiesel Indonesia)

No	Parameter & Satuannya	Batas Nilai
1.	Densitas pada 15°C, Kg/m ³	850–890
2.	Viskositas kinematik pada 40°C (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka Setana	Min. 51
4.	Titik nyala (flash point) pada 0°	Min.100
5.	Titik kabut (Cloud Point)	Max. 18
6.	Titik Tuang (Pour Point)	Max. 18
7.	Korosi bilah tembaga (3 jam, 500°C)	Max.3
8.	Residu karbon,%-berat,	Max.0,05
9.	Air dan sediman,%-volume	Maks.0,05
10.	Temperatur distilasi 90%, 0C	Maks.360
11.	Abu tersulfatkan,%-berat	Maks 0,02
12.	Belarang,ppm-b (mg/kg	Maks.100
13.	Fosfor,ppm-b (mg/kg)	Maks.10
14.	Angka asam,mg-KOH/gr	Maks.0,8
15.	Gliserol bebas,%-berat	Maks.0,02
16.	Gliserol total,%-berat	Maks.0,24
17.	Kadar ester alkil,%-berat	Min.96,5
18.	Lower Heating Value, BTU/lbm	Maks.18288

Dalam pembuatan biodiesel metode yang sering digunakan adalah metode transesterifikasi. Metode ini menggunakan katalis homogen maupun heterogen dan etanol. Reaksi kimia yang dihasilkan berupa methanol, rasio molar dari minyak, perubahan suhu, tekanan, konsentrasi katalis dan perubahan waktu reaksi.

Dalam proses pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit yaitu melalui reaksi transesterifikasi dengan methanol akan menghasilkan, gliserin, metil stearate, metil oleate. Metil oleate atau biodiesel dan gliserin harus dipisahkan melalui suatu tangki pengendap. Setelah gliserin dipisahkan larutan dicuci dengan air dan selanjutnya didistilasi sehingga menghasilkan biodiesel sesuai standard yang diinginkan. Minyak nabati merupakan campuran trigliserida dengan Asam Lemak Bebas (ALB), komposisi minyak nabati tergantung pada tanaman penghasil minyak tersebut.

Reaksi transesterifikasi adalah tahap pengubahan minyak atau lemak menjadi metil atau etil ester asam lemak, yang merupakan biodiesel. Biodiesel (metil ester) diperoleh melalui reaksi trigliserida minyak nabati dengan perantara aktif, yang dibentuk oleh reaksi alkohol dengan katalis (*Duarte , 2007*). Reaksi umum untuk mendapatkan biodiesel melalui transesterifikasi adalah :



Biodiesel yang paling umum digunakan berbahan minyak kelapa sawit. Kelapa sawit adalah tanaman tropis yang oleaginous, memiliki produktivitas minyak tertinggi per unit di bumi. Dalam hal penggunaannya, minyak sawit memiliki berbagai kegunaan sebagai makanan, (minyak, margarin, roti, mayones, pakan, es krim, biskuit dll), di industri (sabun, pelumas, deterjen kelapa sawit, tanaman tropis yang oleaginous, memiliki produktivitas minyak tertinggi per unit tanah di bumi. Dalam hal penggunaannya, minyak sawit memiliki berbagai kegunaan sebagai makanan, (minyak, margarin, roti, mayones, pakan, es krim, biskuit dll), di industri (sabun, pelumas, deterjen, plastik, kosmetik, karet dll) industri tekstil, farmakologi. (*Duarte , 2007*).



Gambar 2.2. Buah kelapa sawit
(sumber : <http://inaagrimap.litbang.pertanian.go.id>)

Di antara tanaman lain untuk memproduksi bahan bakar, minyak sawit menunjukkan daya saing yang baik, seperti dapat dilihat pada Tabel 2.2.1. Minyak kelapa sawit dicampur bahan bakar diesel telah muncul sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin pembakaran internal yang memenuhi kriteria tertentu, seperti memerlukan modifikasi mesin minimum, menawarkan kehidupan mesin tanpa kompromi dan tidak berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan selama produksi, transportasi, penyimpanan dan pemanfaatan. (*Abdul aziz , 2014*)

Tabel 2.2. Bahan bakar nabati dalam alkohol dan minyak (*Jawad Nagi , 2008*)

Source	Fuel	Yield (kg oil/hektar)
Tebu	Alcohol	3,015
Singkong	Alcohol	2,160
Babassu	Oil	240
Kelapa Sawit	Oil	5,000
Jarak	Oil	1,600

Kelapa sawit dan tebu sebagai penghasil minyak nabati yang tertinggi hasilnya sebagai sumber bahan bakar, dengan tebu ditujukan untuk produksi alkohol dan kelapa sawit untuk minyak produksi. Bergantung pada bahan baku yang digunakan untuk produksi, metil ester mungkin mengandung lebih sedikit atau lebih asam lemak tak jenuh dalam komposisinya, yang lebih rentan ke reaksi oksidasi yang dipercepat karena terpapar oksigen dan suhu tinggi, kondisi yang relevan dengan operasi motor. Dekomposisi thermal juga bisa menyebabkan senyawa polimer yang juga merugikan operasi motor (*Abdul aziz , 2014*).

Biodiesel minyak kelapa sawit adalah bahan bakar yang dihasilkan oleh pencampuran bahan bakar solar dan minyak kelapa sawit. Menurut Jawad Nagi pembuatan biodiesel kelapa sawit membutuhkan bahan tambahan berupa campuran methanol dan KOH yang dimasukkan akan membentuk metil ester dengan konversi 94%. Produk konversi tersebut akan diendapkan dan dipisahkan dari endapan gliserol yang terbentuk. Setelah dipisah, proses transesterifikasi II akan dimulai untuk memurnikan komponen metil ester sebelum melakukan prosedur pencucian.

Tabel 2.3. Sifat kimiawi biodiesel dan diesel petroleum (*Jawad Nagi , 2008*)

Characteristics	Palm biodiesel (palm methyl ester)	Petroleum diesel
Type of source	Renewable	Fossil
Calorific value (MJ/kg)	41.3	46.8
Gross heat of combustion (KJ/kg)	40.135	45.8
Cetane level	65	53
Flash point (°C)	174.0	98.0
Pour point (°C)	16.0	15.0
Cloud point (°C)	16.0	18.0
Density at 40 °C (kg/L)	0.855	0.823
Viscosity at 40 °C (cST)	4.5	4.0
Sulphur content (wt. %)	0.04	0.10
Carbon residue (wt. %)	0.02	0.14

2.2. Bahan Bakar Emulsi

Penggunaan air di mesin diesel memiliki sejumlah manfaat yang telah ditemukan, bahwa air memiliki pengaruh pada pengurangan puncak suhu api dan mengurangi emisi NO_x. Teknik yang berkaitan mengenalkan air ke dalam ruang bakar mesin diusulkan oleh Prof. B. Hopkinson pada tahun 1913, untuk membuat pendinginan internal mesin gas yang lebih baik dan untuk meningkatkan output mesin. Selanjutnya, teknik ini dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi thermal dan mengurangi emisi gas buang, atau digunakan sebagai bahan bakar pengaman. (*Scarpete* , 2013)

Pendekatan utama untuk memasukkan air ke dalam zona pembakaran ada empat yaitu :

1. Injeksi langsung ke mesin melalui injector terpisah (DWSI)
2. Injeksi hybrid menggunakan injektor tunggal atau sebagai injeksi bahan bakar diesel bertingkat dengan nozel yang dimodifikasi (HDWI)
3. Fumigating air ke intake udara mesin (FWIA)
4. Emulsi air pada bahan bakar diesel (*Diesel Water Emulsion*) (DWE).

Dari semua metode yang diusulkan untuk menggunakan air ke dalam ruang bakar, emulsi minyak diesel nampaknya paling tepat. Karena tidak memerlukan perkuatan bagian engine (*Ghojel* , 2006). Perbandingan empat metode penambahan air pada mesin diesel vs beberapa teknis dan kriteria ekonomis.terdapat pada table 2.3.1 dibawah ini :

Tabel 2.4. Perbandingan metode penambahan air (*Ghojel*, 2006)

	DWSI	HDWI	FWIA	DWE
Relative NO _x Reduction	Poor	Best	Poor	Good
Effect on PM emissions	Poor	Best	Poor	Good
Variability of water addition	Good	Poor	Good	Good
Lubricating oil dilution	High	Low	High	Low
Expenditure	High	Average	Low	High

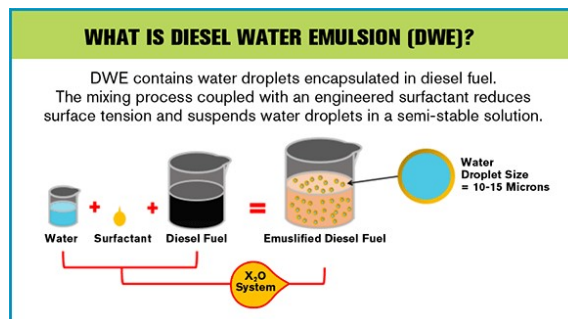
Meskipun semua metode ini menentukan pengurangan emisi NO_x, telah disimpulkan bahwa penggunaan emulsi air diesel adalah teknik yang paling efektif untuk mengurangi emisi mesin diesel injeksi langsung (*Selim* , 2001). Ini telah menunjukkan bahwa penambahan air dapat membantu memperbaiki atomisasi dan pencampuran, yang disebabkan oleh ledakan mikro emulsi (*Selim* , 2010).

Karena emulsi berguna untuk mereduksi NO_x pada mesin diesel, tugas akhir ini berguna untuk mengetahui penggunaan air dalam bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit pada performa, NO_x dan proses pembakaran di mesin diesel dan pengaruhnya terhadap kinerja mesin diesel.

2.3. Diesel Water Emulsion (DWE)

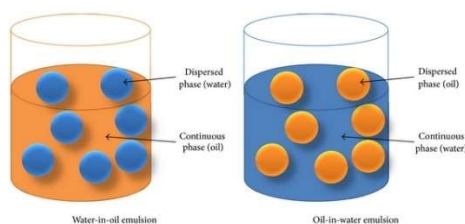
Emulsi air dalam minyak didefinisikan sebagai campuran air dalam minyak yang bercampur secara stabil atau sementara dengan bantuan surfaktan kimiawi (pengemulsi) sehingga air dalam bentuk cair didistribusikan dalam fase minyak. Tingkat pengemulsi ditentukan oleh kemampuan surfaktan, viskositas cairan, ukuran butiran, komposisi bahan dan suhu campuran. Secara khusus butiran air yang lebih kecil diinginkan dengan ukuran submicron. Ukuran butiran submicron air membantu menjaga emulsi cair stabil dalam jangka waktu panjang (*Alriga 2012*). Emulsi air dalam minyak terbentuk apabila volume air dalam jumlah jauh lebih kecil dari volume minyak. Surfaktan kimia (pengemulsi) adalah faktor kunci untuk mendapatkan minyak dalam emulsi agar stabil dalam waktu lama. Emulsi air dalam minyak dapat digunakan sebagai bahan bakar dimana emulsi pasti bisa terbakar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas emulsi adalah jenis pengemulsi, konsentrasi pengemulsi, ukuran tetesan, pH, viskositas, stabilisator, pemanasan, pendinginan, pembekuan, atau pencampuran. Emulsi dapat terjadi secara permanen dan sementara. Emulsi Permanen adalah bahan emulsi yang mampu membentuk membran atau film di sekitar tetesan yang terdispersi sehingga mencegah penyatuan kembali zat-zat yang diemulsikan. Emulsi sementara adalah bahan emulsi yang apabila dilakukan pencampuran akan terjadi pemisahan bahan atau terwujudnya zat baru apabila dilakukan pencampuran. Emulsi sementara terjadi misalnya dalam minyak dan air, akan membentuk butiran lemak dan kemudian membentuk emulsi



Gambar 2.3. Emulsi bahan bakar diesel
(Sumber : <http://www.fiercefuelsystems.com/>)

Umumnya ada dua jenis emulsi yang berbeda, tipe air dalam minyak dan minyak dalam air. Jenis air dalam minyak adalah jenis bahan bakar yang paling sesuai untuk mesin diesel daripada jenis minyak dalam air karena fenomena ledakan air mikro, yang menyebabkan fragmentasi minyak yang besar dan sedikit perubahan viskositas dengan air (*Scarpete, 2013*).



Gambar 2.4. Jenis emulsi
(Sumber : *Yahaya Khan, 2013*)

Surfaktan dapat mengurangi perbedaan berat jenis minyak dan air. Surfaktan adalah zat amphipatik dengan kelompok liofobia dan liofili sehingga mampu mengadsorpsi antar cairan, padatan dan gas. Surfaktan juga disebut zat emulsifikasi karena dapat menstabilkan emulsi bila ada di sepanjang antara air dan minyak. Dalam bahan bakar emulsi air pada mesin diesel, surfaktan menghambat pengkabutan air dalam bahan bakar, sehingga air tidak bersentuhan langsung dengan komponen pada ruang pembakaran mesin diesel (*Ghojel , 2006*). Aditif dimasukkan untuk mempertahankan emulsi, meningkatkan pelumasan, menghambat korosi dan melindungi dari pembekuan.

Dalam pembuatan suatu emulsi, pemilihan surfaktan merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan karena mutu dan kestabilan suatu emulsi banyak dipengaruhi oleh surfaktan yang digunakan. Mekanisme kerja surfaktan, yaitu :

1. Membentuk lapisan monomolekuler ; surfaktan yang dapat menstabilkan emulsi bekerja dengan membentuk sebuah lapisan tunggal yang diabsorpsi molekul atau ion pada permukaan antara minyak/air. Menurut hukum Gibbs kehadiran kelebihan pertemuan penting mengurangi tegangan permukaan. Ini menghasilkan emulsi yang lebih stabil karena pengurangan sejumlah energi bebas permukaan secara nyata adalah fakta bahwa tetesan dikelilingi oleh sebuah lapisan tunggal koheren yang mencegah penggabungan tetesan yang mendekat.
2. Membentuk lapisan multimolekuler ; koloid liofolik membentuk lapisan multimolekuler disekitar tetesan dari dispersi minyak. Sementara koloid hidrofilik diabsorpsi pada pertemuan, mereka tidak menyebabkan penurunan tegangan permukaan. Keefektifitasnya tergantung pada kemampuan membentuk lapisan kuat, lapisan multimolekuler yang koheren.
3. Pembentukan kristal partikel-partikel padat ; mereka menunjukkan pembiasan ganda yang kuat dan dapat dilihat secara mikroskopik polarisasi. Sifat-sifat optis yang sesuai dengan kristal mengarahkan kepada penandaan 'Kristal Cair'. Jika lebih banyak dikenal melalui struktur khususnya mesifase yang khas, yang banyak dibentuk dalam ketergantungannya dari struktur kimia tensid/air, suhu dan seni dan cara penyiapan emulsi. Daerah strukturalisasi kristal cair yang berbeda dapat karena pengaruh terhadap distribusi fase emulsi.

Emulsi dapat distabilkan dengan penambahan surfaktan yang mencegah koslesensi, yaitu penyatuan tetesan besar dan akhirnya menjadi satu fase tunggal yang

memisah. Bahan pengemulsi (surfaktan) menstabilkan dengan cara menempati daerah antar muka antar tetesan dan fase eksternal dan dengan membuat batas fisik disekeliling partikel yang akan berkoalesensi. Surfaktan juga mengurangi tegangan antar permukaan dari fase dan dengan membuat batas fisik disekeliling partikel yang akan berkoalesensi. Surfaktan juga mengurangi tegangan antar permukaan dari fase, hingga meninggalkan proses emulsifikasi selama pencampuran (*Jenkins, 1957*).

Menurut teori umum emulsi klasik bahwa zat aktif permukaan mampu menampilkan kedua tujuan yaitu zat-zat tersebut mengurangi tegangan permukaan (antar permukaan) dan bertindak sebagai penghalang bergabungnya tetesan karena zat-zat tersebut diabsorpsi pada antarmuka atau lebih tepat pada permukaan tetesan-tetesan yang tersuspensi. Zat pengemulsi memudahkan pembentukan emulsi dengan 3 mekanisme :

1. Mengurangi tegangan antarmuka-stabilitas termodinamis
2. Pembentukan suatu lapisan antarmuka yang halus-pembatas mekanik untuk penggabungan.
3. Pembentukan lapisan listrik rangkap-penghalang elektrik untuk mendekati partikel.

HLB adalah nomor yang diberikan bagi tiap-tiap surfaktan. Daftar di bawah ini menunjukkan hubungan nilai HLB dengan bermacam-macam tipe system:

Tabel 2.5. Nilai HLB tipe surfaktan

Nilai HLB	Tipe Sistem
3 – 6	A/M Emulgator
7 – 9	Zat Pembasah
8 – 18	M/A Emulgator
13 – 15	Zat Pembersih
15 – 18	Zat Penambah Pelarutan

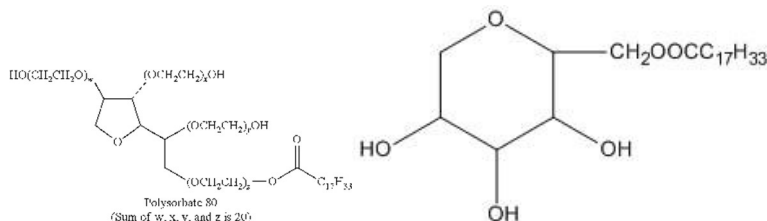
Makin rendah nilai HLB suatu surfaktan maka akan makin lipofil surfaktan tersebut, sedang makin tinggi nilai HLB surfaktan akan makin hidrofil (*Anief, 2005*).

Surfaktan yang digunakan dalam pembuatan bahan bakar emulsi terdapat beberapa jenis. Untuk surfaktan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tween 80 dan Span 80. Tween 80 memiliki nama resmi "*Polysorbatum 80*" sedangkan Span 80 memiliki nama resmi "*Sorbitan monooleate*". Karakteristik Tween 80 dan Span 80 akan dijelaskan pada tabel 2.4.1 dibawah ini :

Tabel 2.6. Karakteristik Surfaktan Tween 80 dan Span 80 (Sumber : *Mr Noor, 2013*)

Material	Tampilan	M.wt. %	Density, g/ml at 20°C	HLB	Sumber
Span 80 "Sorbitan monooleate"	Cairan kental berwarna kuning pekat	428.61	0.99	4.3	Sigma-Aldrich CO., Jerman

Tween 80 “Polyoxyethylen e	Cairan lengket berwana amber	1310	1.08	15	Sigma-Aldrich CO., Jerman
----------------------------------	---------------------------------	------	------	----	------------------------------



Gambar 2.5. Stuktur ikatan kimia Tween 80 dan Span 80
(Sumber : *Mr Noor* , 2013)

2.4 Performa, NO_x dan Proses Pembakaran

Semua mesin diesel harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum ditunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi dan kebutuhan bahan bakar spesifik. Karakteristik bahan bakar juga mirip dengan solar konvensional dengan kadar sulfur yang rendah. (*Aguk Zuhdi*, 2003).

2.4.1. Analisa performa

Hendra Wijaksana and Gusti B. W. Kusuma (2006) melakukan penelitian tentang Analisa performa penggunaan bahan bakar biodiesel kelapa sawit pada mesin diesel DWE-47-50-HS-Av mendapatkan hasil dapat dilihat pada tabel 2.7. sebagai berikut :

Tabel 2.7. Analisa data performa mesin diesel berbahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Gusti B. W. Kusuma 2006*)

ENGINE REVOLUTION (RPM)	FUEL							
	DIESEL OIL				BIODIESEL			
	Torque (kg.m)	Effective Power (HP)	Fuel Consumption (kg/hr)	Thermal Efficiency (%)	Torque (kg.m)	Effective Power (HP)	Fuel Consumption (kg/hr)	Thermal Efficiency (%)
650	0.193	0.175	0.710	1.48	0.186	0.169	0.508	2.12
1000	4.511	6.295	2.322	16.31	1.518	2.118	1.472	8.35
1350	4.654	8.769	1.862	28.34	2.427	4.573	1.808	16.2
1700	5.155	12.231	2.348	31.34	2.506	5.946	5.618	6.78
2050	8.764	25.074	8.640	17.47	3.157	9.034	7.191	8.05

Dari hasil eksperimen diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit mengakibatkan performa mesin diesel DWE-47-50-HS-Av mengalami penurunan torsi, *effective Horse Power* , SFOC sedangkan *Thermal Efficiency* turun dibandingkan penggunaan Diesel Oil.

2.4.2 Emisi NOx

Polusi udara merupakan masalah yang dihadapi oleh dunia saat ini. Sumber utama polusi udara disebabkan oleh gas buang kendaraan. Dalam beberapa tahun terakhir, Dalam beberapa tahun terakhir, emisi NOx, SOx dan partikel dari kapal telah meningkat. Sumbangan emisi NOx dari bidang pelayaran internasional menyumbang 15% dari total NOx global, beanyak pihak yang menekankan agar ditemukan cara untuk mereduksi NOx tersebut. Eropa dan Amerika Serikat telah menetapkan standar kualitas udara terhadap level maksimal partikel halus. Standart ini sudah banyak dilakukan di daerah pesisir dan pelabuhan. Meskipun besar emisi dari kapal sudah diatur, namun merupakan tujuan penting untuk meminimalkan emisi. Emisi NOx dan batas emisi NOx di kapal sudah diatur dan semakin ketat. (*Nauval, 2017*).

Emisi merupakan zat, energy atau komponen yang dihasilkan oleh kegiatan yang berlebihan, sehingga menimbulkan terganggunya suatu system. Sebagai contoh adalah Emisi Gas Buang. Alat yang biasa untuk mengukur gas buang adalah exhaust gas analyzer. (*Aligra. 2017*). Pengujian emisi dan faktor pembebanan harus dilakukan untuk memferifikasikan penyesuaian dari mesin diesel dengan pembatasan limit bedasarkan pada regulasi 13 pada Annex VI (*IMO, 2016*)

Tabel 2.8. Tabel Pengetesan IMO
(Sumber : *IMDG Code , 2016*)

Test Cycle type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting faktor	0.2	0.5	0.15	0.15
Test Cycle type E3	Speed	100%	91%	80%	63%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting faktor	0.2	0.5	0.15	0.15
Test Cycle type D2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weighting faktor	0.05	0.25	0.3	0.1

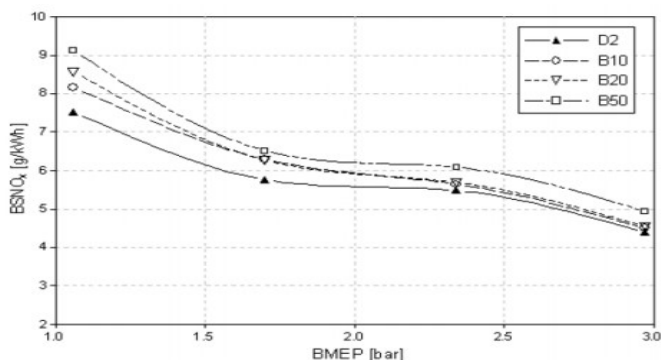
Azhar Abdul Aziz, Mohd Farid Said, Mohamad Afiq Awang (2006) melakukan penelitian tentang Pengaruh Methyl Ester Kelapa Sawit (NPOME) terhadap Kinerja dan Emisi Mesin Diesel Langsung Injeksi. Dengan melakukan perbandingan dari beberapa komposisi bahan bakar seperti :

Tabel 2.9. Komposisi Biodiesel (*Abdul Aziz, 2006*)

No	Fuel	Fuel Blended (%vol)
1.	D2	100% Petroleum diesel
2.	B10	10%CPO + 90% D2
3.	B20	20%CPO + 80% D2
4.	B50	50% CPO + 50% D2

Eksperimen ini menggunakan Mesin Diesel Yanmar L70-AE (Single Cylinder Direct Injection) dengan karakteristik maksimum power sebesar 4,9 kW pada 3400 rpm

ect Injection) dengan karakteristik maksimum power sebesar 4,9 kW pada 3400 rpm. Adapun hasil pengujian emisi ada pada gambar dibawah ini :



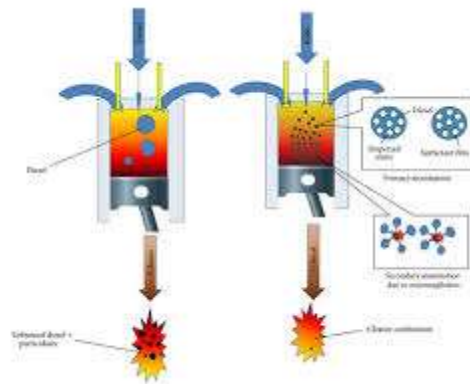
Gambar 2.6. Grafik Pengaruh BMEP terhadap NOx

Dari hasil eksperimen yang dilakukan oleh Azhar Abdul Aziz, Mohd Farid Said, Mohamad Afiq Awang (2006). Penggunaan Biodiesel kelapa sawit memiliki kandungan NOx yang tinggi dibandingkan dengan bahan bakar petroleum diesel. NOx dari B50 memiliki kandungan NOx tertinggi yaitu 5 g/kWh Nox pada 3.0 Bar.

2.4.3. Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah proses mengubah energi kimia menjadi energi panas, menggunakan bahan bakar dan zat pengoksidasi. Jenis pembakaran ada dua jenis yaitu pembakaran internal dan eksternal. Perbedaan antara pembakaran motor diesel berbahan bakar minyak dan emulsi adalah induksi Bahan bakar diesel dalam air bakar secara signifikan bersih.

Emulsi diperoleh dengan proses mikronisasi mekanis dan ultrasonik yang menghasilkan tetesan mikro yang dibentuk oleh tiga elemen dasar produk: air dalam inti, bahan bakar hidro yang menutupi partikel air dan akhirnya pengemulsi antara kedua unsur sebelumnya dengan membran yang juga membantu. dalam mengikat partikel ke tetes mikro lainnya. Sifat bahan bakar baru yang dihasilkan memodifikasi urutan pembakaran tradisional. Injektor mesin menyemprotkan bahan bakar dengan mengompres bahan bakar hidro sedemikian rupa sehingga ledakan panas partikel air terjebak dalam inti tetesan mikro. Hasil panas berlebih ini menghasilkan uap air yang menghasilkan turbulensi di dalam ruang bakar engine. Uap ini memecah molekul hidrofuel yang menghasilkan pembakaran bahan bakar secara menyeluruh yang mengkompensasi hilangnya energi karena adanya partikel air yang ditambahkan. Uap juga menghilangkan partikel sisa yang tidak terbakar dan membantu pembersihan bagian-bagian mesin dan sistem pembuangan (Nauval 2017).



Gambar 2.7. Pembakaran motor diesel berbahan bakar minyak dan emulsi
(Sumber : Yahaya Khan, 2013)

Dalam pengoperasian bahan bakar emulsi ke motor diesel ada hal yang harus diperhatikan, yaitu munculnya knocking. Knocking yaitu hal yang disebabkan karena terlalu banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan pada tahapan pembakaran tertunda. Sehingga terlalu banyak bahan bakar yang terbakar pada tahapan kedua yang mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis serta menghasilkan getaran dan suara yang keras. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian analisa combustion process motor diesel yang menggunakan bahan bakar emulsi sebagai bahan bakarnya untuk mengetahui proses pembakarannya (*combustion Process*). Combustion analysis process merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik proses pembakaran meliputi ignition delay, maximum pressure, heat release dan knocking.

Combustion Analyzer adalah metode yang digunakan di kimia organik dan kimia analitik untuk menentukan komposisi unsur (rumus lebih tepatnya empiris) dari senyawa organik murni dengan sampel pembakaran dalam kondisi di mana produk pembakaran yang dihasilkan dapat dianalisis kuantitatif. Setelah jumlah mol masing-masing produk pembakaran telah ditentukan rumus empiris atau rumus empiris parsial senyawa asli dapat dihitung.

Aplikasi untuk analisis pembakaran hanya melibatkan unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), dan sulfur (S) sebagai pembakaran bahan yang mengandung mereka mengkonversi elemen-elemen ini ke bentuk mereka teroksidasi (CO_2 , H_2O , NO atau NO_2 , dan SO_2) di bawah kondisi oksigen tinggi suhu tinggi. kepentingan penting untuk elemen ini melibatkan mengukur jumlah nitrogen dalam makanan atau pakan untuk menentukan persentase protein, mengukur sulfur dalam produk minyak bumi, atau mengukur jumlah karbon organik (TOC) dalam air.

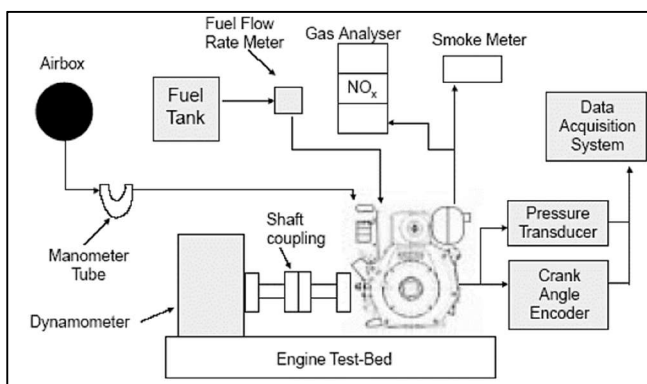
Pada mesin diesel ada tenggang waktu antara sejak dimulainya penginjeksian solar (periode injeksi) ke dalam silinder bakar mesin, kemudian terbentuk campuran udara embun solar sampai terjadi titik api yang mula-mula atau periode pengapian. Tenggang waktu atau keterlambatan pengapian ini disebut ignition delay. Ignition delay adalah suatu parameter yang sangat berpengaruh terhadap awal sampai akhir proses pembakaran di dalam silinder bakar mesin, oleh sebab itu sangat menentukan performa dan emisi gas buang mesin. Untuk memprediksi ignition delay, yaitu dengan menerapkan persyaratan autoignition.

Nagi, Syed, & Farrukh (2008) melakukan eksperimen uji proses pembakaran (*Combustion Process*) pada biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan melakukan perbandingan dari beberapa komposisi bahan bakar seperti :

Tabel 2.10. Komposisi biodiesel penelitian (Nagi 2008)

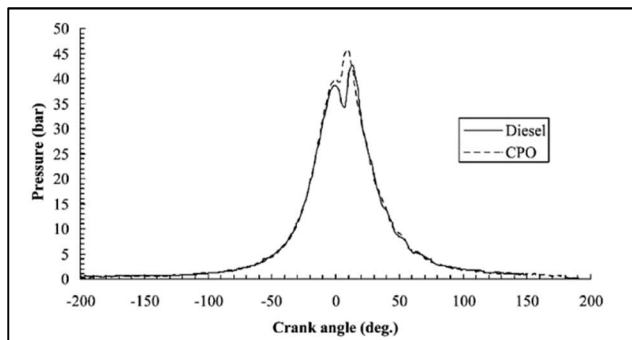
1.	D2 Fuel	100% Solar
2.	B10 Fuel	10% CPO + 90% D2
3.	B20 Fuel	20% CPO + 80% D2

Eksperimen ini menggunakan Mesin Diesel Yanmar TF85-MH L70-AE (Single Cylinder Direct Injection) dengan karakteristik maksimum power sebesar 4,9 kW pada 3400 rpm ect Injection) dengan karakteristik maksimum power sebesar 4,9 kW pada 3400 rpm

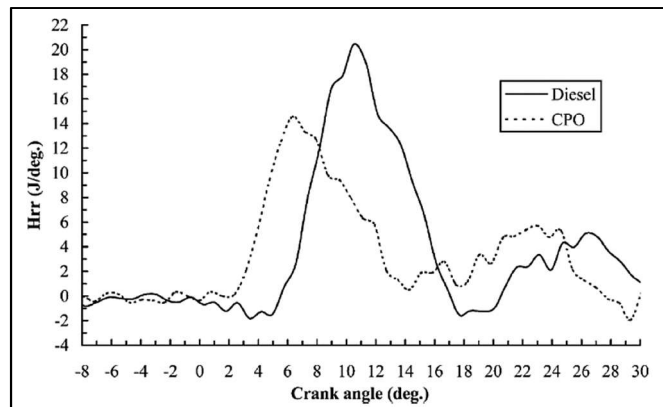


Gambar 2.8. Pengaturan *Combustion Process Crude Palm Oil Biodiesel* (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)

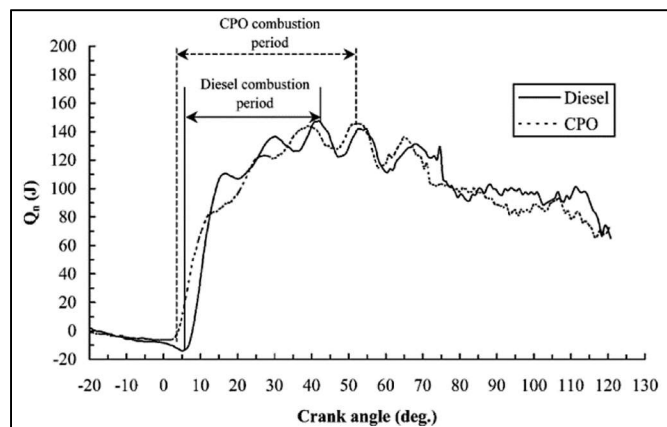
Adapun pengujian proses pembakaran seperti uji tekanan (*Pressure Test*) *Position of Crank Angle, Heat Release, Net Heat Release*. Untuk grafik hasil pengujian ada pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.9. Grafik *Pressure vs. Crank Angle diagrams for CPO and Petroleum Diesel Combustion* (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)



Gambar 2.10. Grafik *Heat Release Rates for CPO and Diesel Combustion* (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)

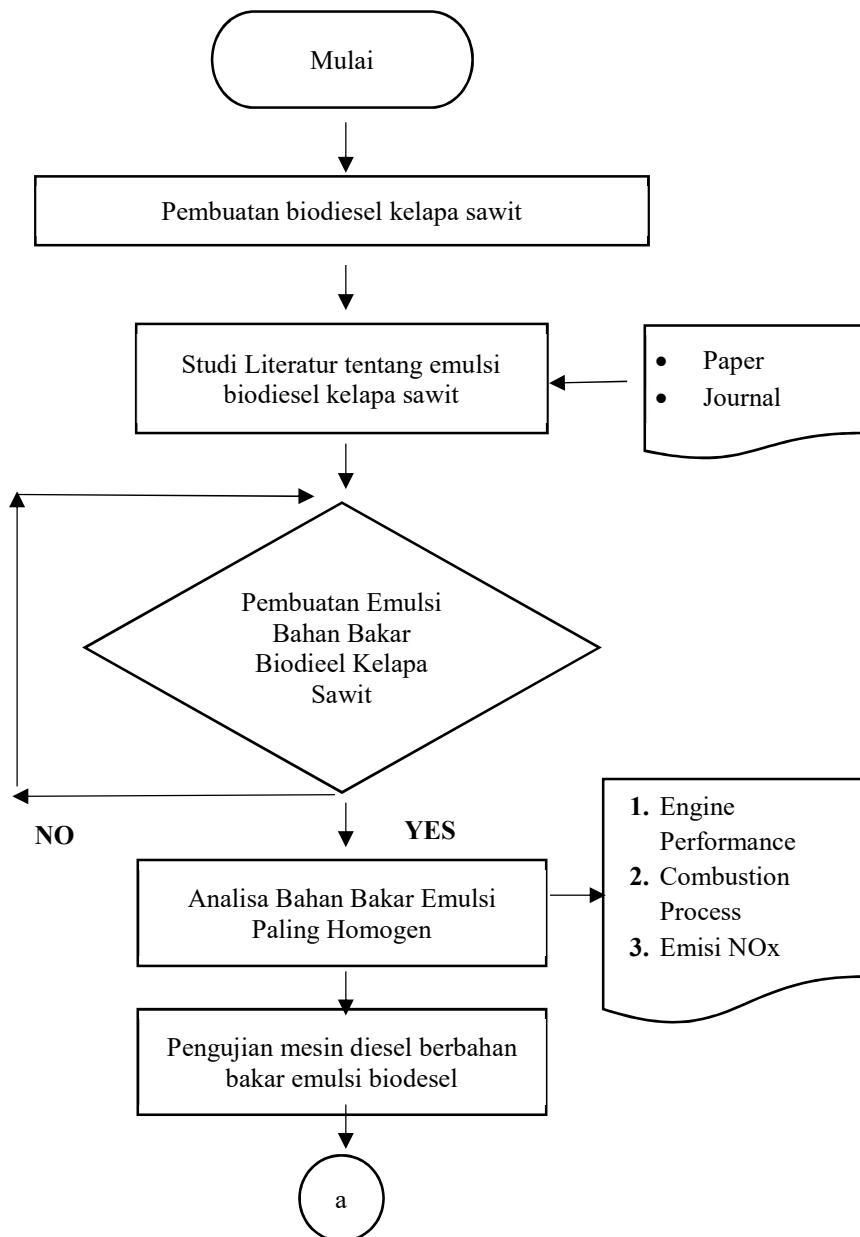


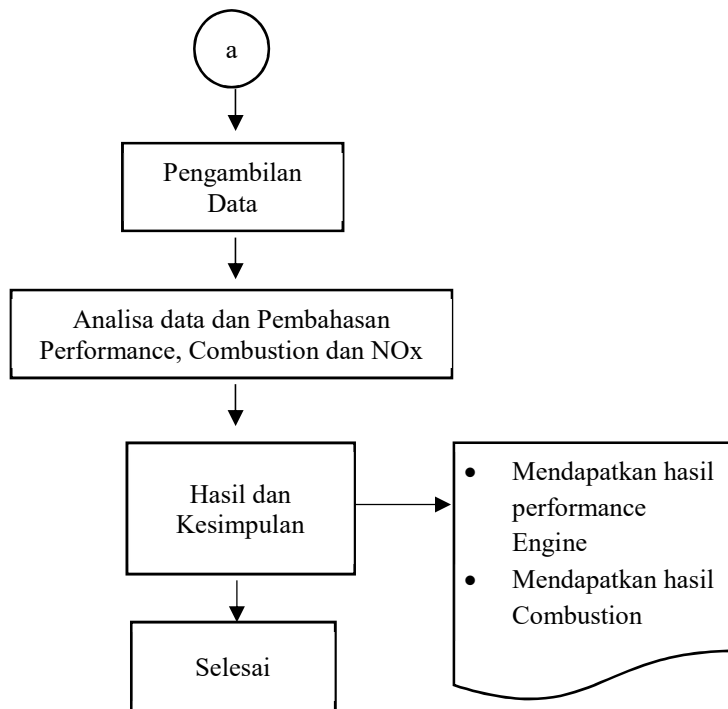
Gambar 2.11. Grafik *Net heat release values for CPO and Diesel Combustion* (Nagi, Syed, & Farrukh, 2008)

Eksperimen ini menunjukkan bahwa biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) memiliki karakteristik lebih rendah disbanding bahan bakar solar, seperti hasil power performansi, torsi dan efisiensi thermal yang lebih rendah disbanding bahan bakar solar dikarenakan untuk titik bakar yang berada di bawah solar. Ketika berada pada putaran yang rendah campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar menghasilkan torsi yang hampir mendekati bahan bakar solar 100% dan pada putaran yang tinggi maka campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar akan jauh di bawah bahan bakar solar. Hal tersebut dikarenakan tingkat kekentalan (*Density*) dari campuran antara bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil*) dengan solar lebih besar dibanding bahan bakar solar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, penulis menggunakan metode eksperimen. Adapun diagram metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :





3.1 Perumusan Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini, untuk mengetahui bagaimana cara membuat bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit dengan air. Komposisi biodiesel, air dan surfaktan dalam campuran bahan bakar emulsi biodiesel kelapa sawit. Dan hasil performa, NOx, dan proses pembakaran bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada mesin diesel

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, studi literatur tersebut mengacu pada karakteristik bahan bakar emulsi serta performa, Nox dan proses pembakaran yang meliputi dari tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), *Ignition Delay*, *Heat Release*, dan *Knocking*.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis performa, NOx dan proses pembakaran bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit. Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

3.3.1 Pembuatan biodiesel kelapa Sawit

Kelapa sawit adalah tumbuhan sejenis buah yang banyak tumbuh di daerah tropis. Tumbuhan ini merupakan sumber penghasil minyak nabati daipada jenis tumbuhan lain. Minyak kelapa sawit banyak digunakan sebagai bahan utama goreng, margarin, sabun, sampo. Tumbuhan ini diambil minyaknya sebagai bahan baku biodiesel dengan bantuan KOH dan metanol dalam proses transesterifikasi.

Dalam pembuatan biodiesel kelapa sawit diperlukan persiapan bahan dan alat. Berikut bahan dan alat yang digunakan adalah :

1. Minyak Kelapa sawit
2. Metanol
3. KOH
4. Aquades
5. Kompur gas
6. Thermometer
7. Pippet
8. Wadah stainless steel
9. Timbangan
10. Gelas ukur
11. Cuka
12. Alat pembublelan

a. Proses Pembuatan larutan metoksid

Larutan metoksid adalah larutan campuran methanol dengan KOH. Jumlah larutan metoksid yang digunakan dalam proses transesterifikasi ini adalah sebesar 500 ml methanol dan 4 gram KOH untuk 1 liter minyak sawit.



Gambar 3.1 KOH dan Metanol

b. Proses transesterifikasi

Proses ini dilakukan dengan memanaskan minyak dengan suhu sekitar 50 – 55°C agar tidak terlalu kental saat pencampuran dengan larutan metoksid. Pada saat pencampuran minyak diaduk dengan rata dan stabil. Proses pencampuran seperti gambar 4.1.2. dibawah, harus dilakukan di media yang terbuat dari kaca atau Stainless

Steel Pengadukan dilakukan berlangsung sekitar 1 jam, diamkan agar terjadi pemisahan antara gliserin dan biodiesel (Metil Ester).

c. Proses pencucian

Setelah proses transesterifikasi, selanjutnya adalah proses pencucian yaitu menuangkan biodiesel tersebut kedalam gelas kaca dan dicampur dengan aquades dalam setiap liter minyak biodiesel dan cuka 3% dari 100ml. Proses pencucian dalam tahap ini menggunakan cara pembubblan yaitu dengan memanfaatkan gelembung udara untuk mengikat gliserol yang sudah terikat oleh methanol dengan menggunakan air. Proses ini membutuhkan waktu minimal 8 jam.



Gambar 3.2. Proses pengendapan

d. Proses pengendapan

Setelah di buble selama 24jam lalu di diamkan selama 24 jam agar terjadi proses pemisahan antara glyserol dengan metil ester.



Gambar 3.3. Perbedaan gliserol dengan metil ester

e. Proses pengeringan

Setelah di pisahkan antara ester dengan glyserol lalu dilakukan proses pengeringan dengan cara di panaskan dengan suhu 100°C . Pengeringan ini bertujuan untuk mengurangi kadar air dalam minyak

f. Biodiesel kelapa sawit yang dihasilkan

Setelah mengalami proses pengeringan dihasilkan metil ester sebanyak 600 ml dari setiap proses transesterifikasi. Metil ester yang dihasilkan dari proses transesterifikasi ini cukup banyak dikarenakan factor pencucian dengan proses pembubblan. Proses pembubblan sangat mempengaruhi berapa banyak gliserol yang mampu dipisahkan oleh aquades.



Gambar 3.4 Metil ester minyak kelapa sawit

3.3.2 Pembuatan bahan bakar emulsi

Penentuan komposisi dan cara pembuatan bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit dan air sangat mempengaruhi bahan bakar yang dihasilkan. Proses lama pengadukan maupun RPM yang digunakan harus ditetapkan dengan melalui proses eksperimen. Adapun alat-alatnya adalah sebagai berikut:

1. Biodiesel Minyak Kelapa Sawit
2. Span 80
3. Tween 80
4. Aquades
5. Mixer
6. Tabung Elenmeyer
7. Gelas Ukur
8. Pipet

Komposisi biodiesel sendiri adalah B20, yaitu 80% bahan bakar Solar dan 20% Biodiesel minyak kelapa sawit. Pada penelitian kali ini ditentukan jumlah penggunaan air dengan kadar 10%, 15%, 20%, dan 25% dan jumlah penggunaan surfaktan adalah 3%, 4%, 5%, dan 6%. Dengan batasan penggunaan surfaktan adalah 3% Span 80 dan 3% Tween 80 pada setiap campuran. Variable Bahan bakar yang digunakan bisa dilihat dari tabel 3.1.

Tabel 3.1. Variasi campuran bahan bakar emulsi

No.	B20	Air	Surfaktan	
			Tween 80	Span 80
1	87%	10%	1.50%	1.50%
2	86%	10%	2%	2%
3	85%	10%	2.50%	2.50%
4	84%	10%	3%	3%
5	82%	15%	1.50%	1.50%
6	81%	15%	2%	2%
7	80%	15%	2.50%	2.50%
8	79%	15%	3%	3%

9	77%	20%	1.50%	1.50%
10	76%	20%	2%	2%
11	75%	20%	2.50%	2.50%
12	74%	20%	3%	3%
13	72%	25%	1.50%	1.50%
14	71%	25%	2%	2%
15	70%	25%	2.50%	2.50%
16	69%	25%	3%	3%

a. Pembuatan Campuran Biodiesel + Air + Surfaktan

Cara pembuatan biodiesel minyak kelapa sawit diambil sampel no 4 pada tabel 3.1. yaitu dengan komposisi 84 ml B20, 10 ml Air. Surfaktan sebanyak 3 ml Span 80 dan 3ml Tween 80 menggunakan alat suntik dikarenakan viskositas kedua surfaktan tersebut cukup tinggi. Setelah itu semua bahan dimasukkan dalam tempat pengadukan.

b. Proses Pengadukan campuran Biodiesel + Air + Surfaktan

Proses pencampuran B20 + Air + Surfaktan menggunakan alat bantu mixer dengan RPM dan lama pengadukannya butuh waktu sampai larutan ini tidak mengeluarkan busa lagi pada saat proses pengadukan

c. Bahan bakar emulsi yang dihasilkan

Setelah mengalami proses pengadukan selama 1 jam dengan RPM maka dihasilkan bahan bakar emulsi seperti pada gambar 4.2.3 di bawah ini :



Gambar 3.5. Bahan bakar emulsi

d. Pengamatan Homogenesis bahan bakar emulsi
















Setelah melakukan eksperimen pembuatan semua sampel bahan bakar emulsi sesuai tabel 4.1 di atas, maka selanjutnya adalah pengamatan sifat homogenesis bahan bakar emulsi selama 7 hari. Dikarenakan bahan bakar emulsi antara B20 dan Air memiliki masa kadaluarsa. Hasil pengamatan homogenesis bahan bakar emulsi bisa dilihat pada tabel 3.2 dan 3.3.

Tabel 3.2. Bahan Bakar emulsi B20 + Air 10%

Hari ke -	Span 80 1.5 % + Tween 80 1.5%	Span 80 2 % + Tween 80 2%	Span 80 2.5 % + Tween 80 2.5%	Span 80 3 % + Tween 80 3%
Hari ke 1				
Hari ke 2				
Hari ke 3				
Hari ke 4				
Hari ke 5				
Hari ke 6				
Hari ke 7				

Dari hasil uji homogenesis bahan bakar emulsi dengan komposisi B20 + 10% air maka hasil yang paling bagus adalah sampel no 4 dikarenakan setelah 7 hari bahan bakar emulsi tersebut tidak mengalami perubahan struktur. Sampel no 4 ini menggunakan surfaktan 3% span 80 dan 3% tween 80.

Tabel 3.3. Bahan Bakar emulsi B20 + Air 15%

Hari ke -	Span 80 1.5 % + Tween 80 1.5%	Span 80 2 % + Tween 80 2%	Span 80 2.5 % + Tween 80 2.5%	Span 80 3 % + Tween 80 3%
Hari ke 1				
Hari ke 2				
Hari ke 3				
Hari ke 4				
Hari ke 5				
Hari ke 6				



Bahan bakar emulsi B20 + 20% Air

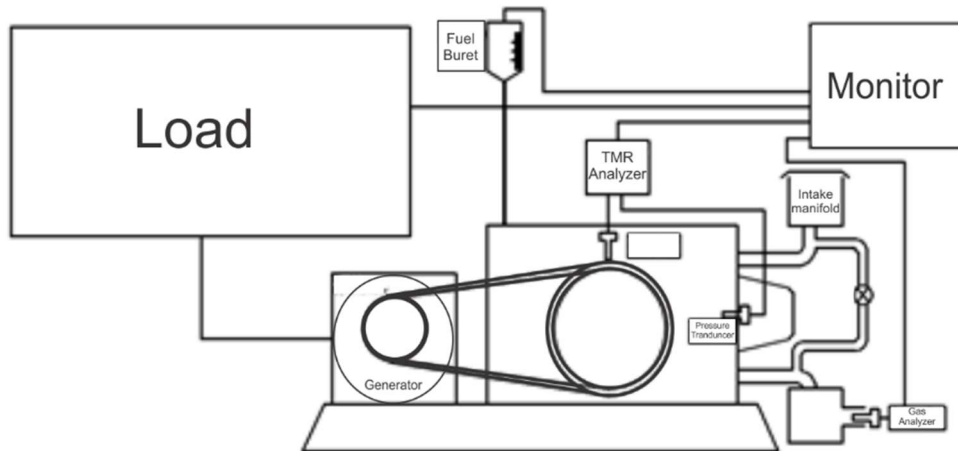


Gambar 3.6. Bahan Bakar Emulsi B20 + 20% Air + 3% Span 80 + 3% Tween 80

Bahan bakar emulsi dengan penggunaan air 20% dan 3% Span 80 dan 3% Tween 80 mengalami proses separasi dalam jangka waktu 10 menit, hal ini diakibatkan tidak kuatnya surfaktan untuk menghomogenkan minyak dan air. Untuk variable bahan bakar dengan penggunaan air 20% Air dan 25% air tidak dilakukan proses eksperimen dikarenakan surfaktan dibawah 6% tidak mampu menghomogenkan minyak dan air.

3.4 Engine Set up (Pra Experimen)

Proses *Engine SET UP* disini adalah dilakukan pemasangan alat alat uji seperti *Electric Dynamno* untuk mengetahui peforma, *Combustion Analyzer*. Pada pengujian peforma ini ada beberapa sensor yang dipasang, diantaranya *Hardware Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-Rotary Encorder* pada motor diesel YANMAR tipe TF 85 MH-di. Kemudian dilakukan proses pengistalan *software/tool* yang bernama *TMR Instrumen* untuk menampilkan hasil proses pembakaran motor di layar computer untuk mengetahui proses pembakaran. Dan yang ketiga adalah *Exhaust Gas Analyzer* untuk mengetahui kadar emisi *NOx*. Dalam tahap ini, diharapkan semua peralatan dan bahan sudah siap sehingga dapat mempermudah dalam proses pengambilan data.



Gambar 3.7. Desain Eksperimen

3.5 Pengambilan Data (Eksperimen)

Proses eksperimen ini dilakukan ketika semua sudah disiapkan, meliputi bahan bakar berupa biodiesel, engine set up beserta alat penunjang sudah selesai dilakukan antara lain:

3.5.1 Uji Performa

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui daya, torsi dan *SFOC* dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang telah disediakan sebelumnya,. Uji Peforma nanti akan dilakukan dengan berbagai variable. Diantaranya

a. Variabel Tetap

- Bahan bakar emulsi 10% & 15%
- *RPM engine*

Engine yang dipakai mempunyai putran maksimal, ditentukan putaran yang akan mejadi patokan adalah 5 titik putaran teratas, yaitu pada 1800, 1900, 2000, 2100, 2200 RPM

b. Variabel Berubah

- Beban

3.5.2 Uji Emisi (Kadar NO_x) dan Proses Pembakaran

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui kandungan NO_x pada emisi motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang telah disediakan sebelumnya, dengan tambahan sistem *EGR* pada motor Diesel. Uji Peforma nanti akan dilakukan dengan berbagai variable. Diantaranya

a. Variabel Tetap

- Bahan bakar emulsi 10% & 15%
- *RPM*

Engine yang dipakai mempunyai putran maksimal, ditentukan putaran yang akan mejadi patokan adalah 5 titik putaran teratas, yaitu pada 2200 RPM

b. Variabel Berubah

- Beban

Metode pengetesan pada uji emisi dan proses pembakaran, titik RPM dan beban mengikuti prosedur pada aturan *IMO Marpol Annex VI*. Tipe pengujian yang dipilih adalah *test cycle type E2*, Metode pengujian untuk tipe E2 adalah seperti yang terlihat pada tabel 3.4 berikut:

Tabel 3.4. *MARPOL Annex VI, Appendix II Test Cycle*

Test Cycle Type E2	Speed	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%
	Weight Factor	0.2	0.5	0.15	0.15

*) Keterangan:

- Untuk mesin diesel kecepatan konstan dan digunakan untuk penggerak utama atau digunakan sebagai diesel electric menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *controllable-pitch propeller* menggunakan *Test Cycle E2*.
- Untuk *auxiliary engines* kecepatan konstan menggunakan *Test Cycle D2*.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil eksperimen dan paper yang sudah dilakukan, dari tahap pra eksperimen hingga tahap eksperimen. hasil yang diperoleh merupakan data perbandingan performa motor, data kadar *NOx* dan proses pembakaran pada setiap RPM.

3.7 Analisa & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan meliputi BMEP, SFOC, Daya, Torsi, *NOx Maximum Pressure*, *Ignition Delay*, dan *Heat Release*. Dan akan dianalisa bagaimana proses pembakaran motor diesel berbahan bakar emulsi

3.8 Kesimpulan & Saran

Setelah semua yang dilakukan, maka selanjutnya adalah menarik kesimpulan dari analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

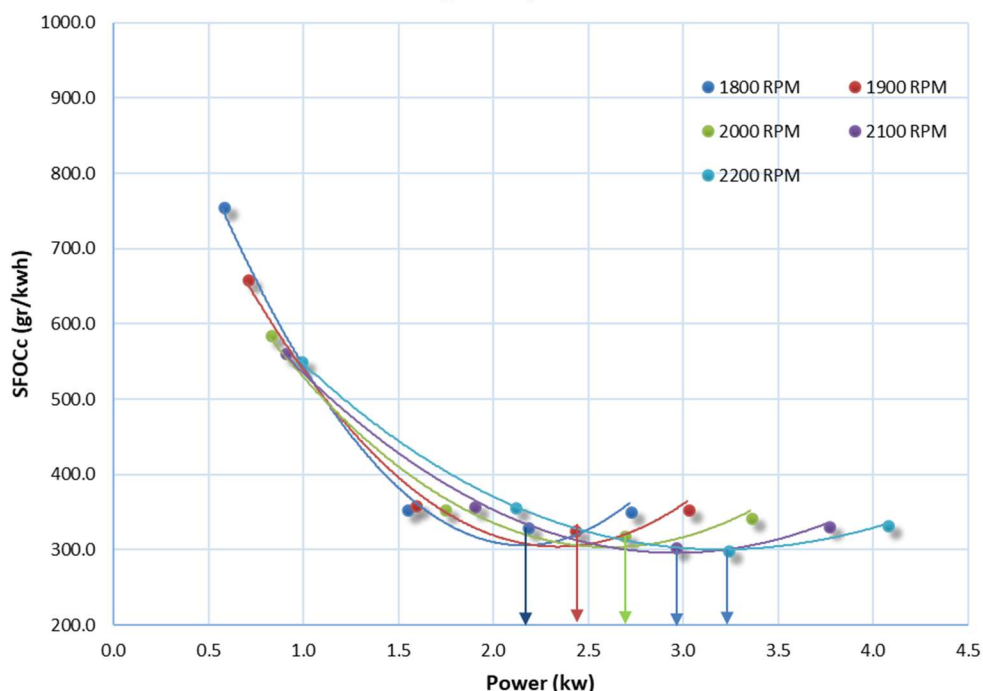
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Performa Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%

Analisa data dari hasil performa meliputi grafik perbandingan daya, torsi dan BMEP. Proses pengambilan data performa diperoleh dari proses proses eksperimen peforma dari motor diesel berbahan bakar emulsi 10% & 15%. Grafik perbandingan daya, torsi serta BMEP dibentuk setelah menentukan titik titik lembah dalam grafik *SFOC* terhadap daya dari masing masing titik ujicoba campuran bahan bakar. Titik lembah dari grafik yang menunjukkan nilai *SFOC* terendah pada masing-masing RPM dianggap sebagai nilai *power* motor diesel 100%. Pada penelitian kali ini variabel RPM ditentukan pada 1800, 1900, 2000, 2100 dan 2200.

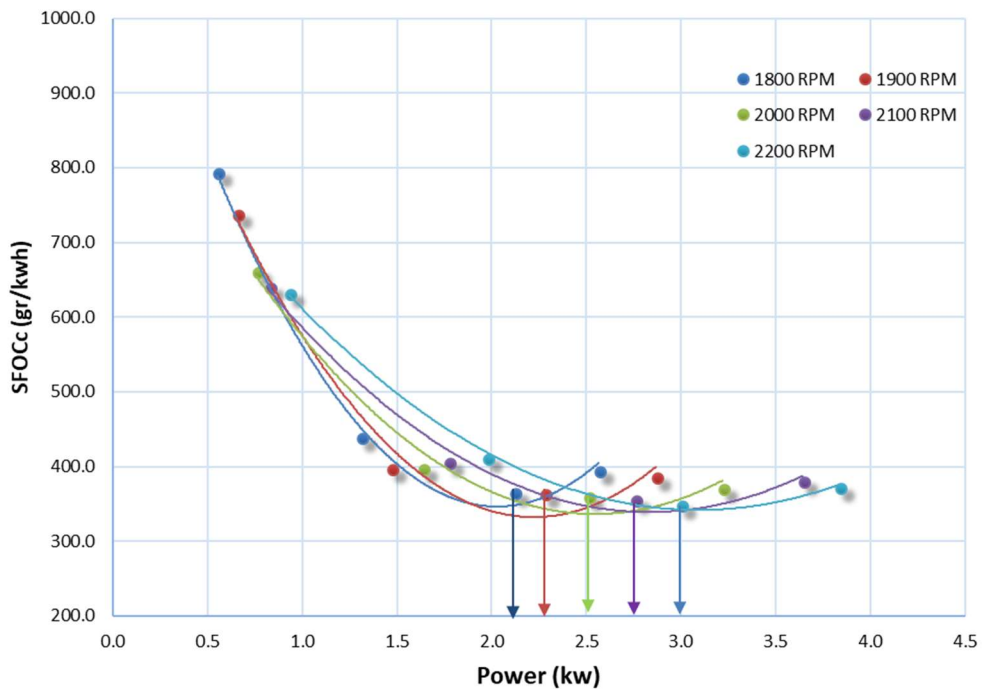
4.1.1 Analisa Performa *SFOC* dengan Daya



Gambar 4.1. Performansi *SFOC* dengan Power Bahan Bakar Dexlite

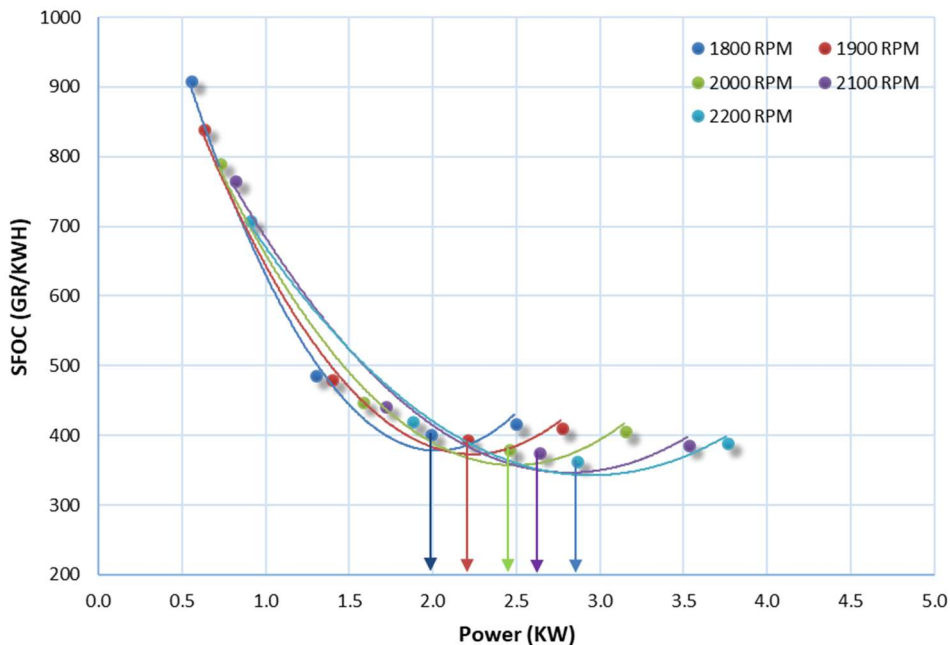
Grafik pada gambar 4.1 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada campuran bahan bakar Dexlite sebagai acuan awal pengambilan data, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 300,6 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 330,7 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 327,4 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 320,9 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 304,6 gr/kWh dan

2200 RPM dengan nilai *SFOC* 300,6 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



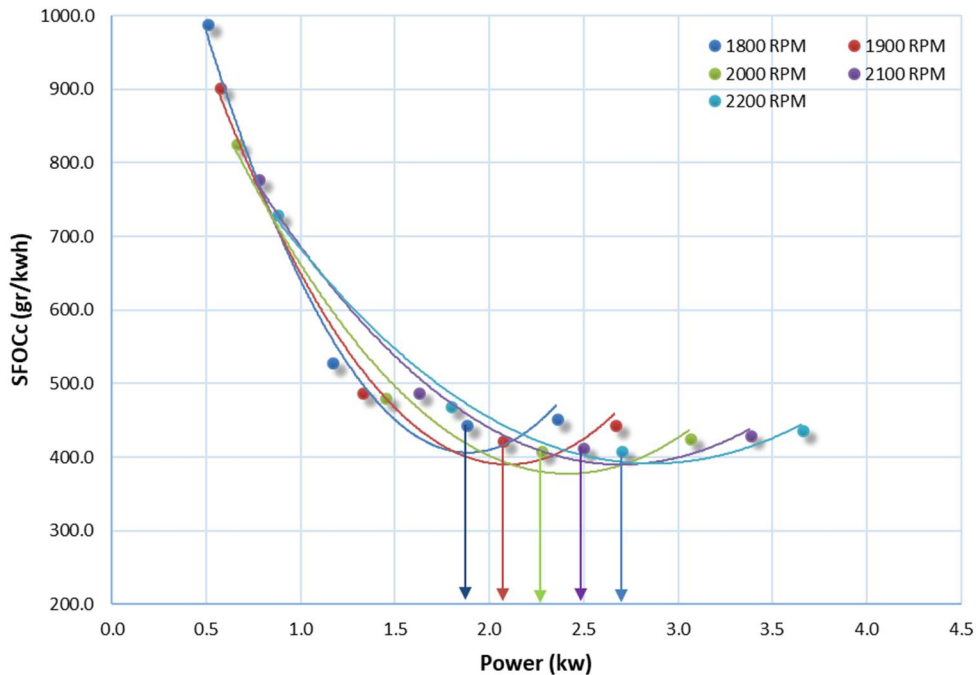
Gambar 4.2. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B20

Grafik pada gambar 4.2 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada bahan bakar B20, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 349,7 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 366,9 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 363,9 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 360,9 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 355,5 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* 349,7 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



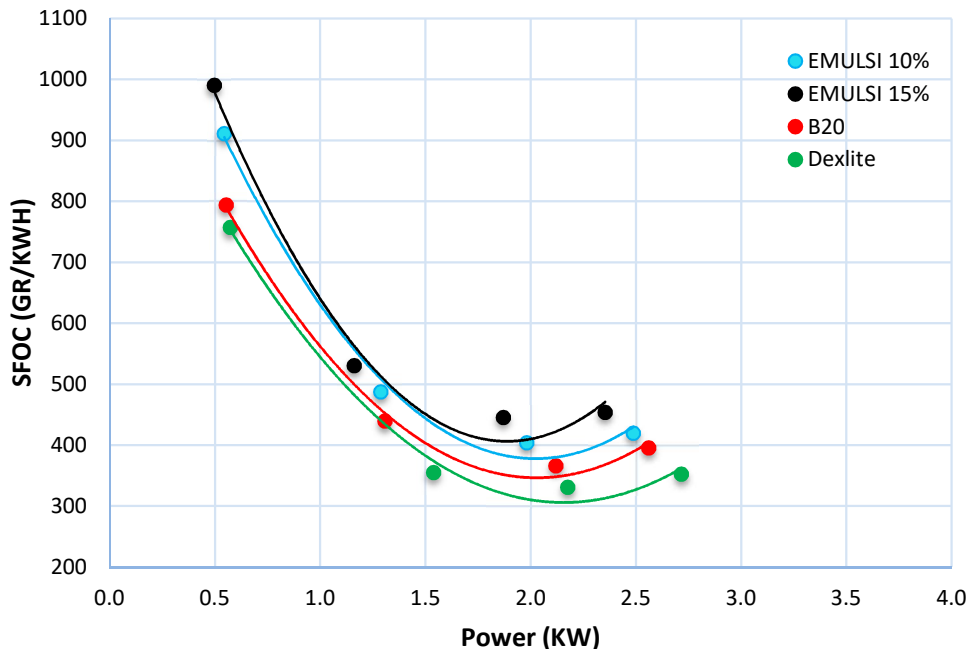
Gambar 4.3 Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Emulsi 10%

Grafik pada gambar 4.3 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada bahan bakar, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2200 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 365.36 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 403,55 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 394.89 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 381,17 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 377,23 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* 365,36 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



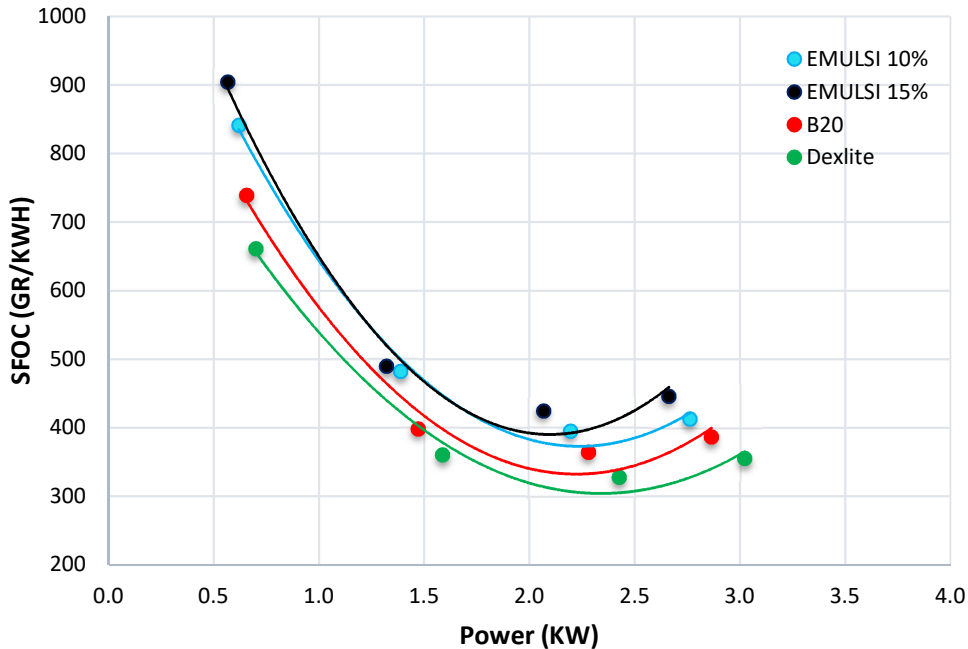
Gambar 4.4. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Emulsi Air 15%

Grafik pada gambar 4.4 adalah grafik perbandingan *SFOC* terhadap *power* pada bahan bakar emulsi air 15%, menunjukkan lengkung *SFOC* terhadap *power* pada masing-masing RPM dan beban yang telah ditentukan. Hasil dari pembacaan grafik diatas, menunjukkan Titik *SFOC* terendah terjadi pada 2000 RPM dengan nilai *SFOC* sebesar 409,7 gr/kWh. Sementara untuk titik *SFOC* terendah pada masing-masing RPM yaitu pada 1800 RPM dengan nilai *SFOC* 445,0 gr/kWh, 1900 RPM dengan nilai *SFOC* 424,5 gr/kWh, 2000 RPM dengan nilai *SFOC* 409,7 gr/kWh, 2100 RPM dengan nilai *SFOC* 414,9 gr/kWh dan 2200 RPM dengan nilai *SFOC* 410,4 gr/kWh. Titik titik *SFOC* terendah dari titik lembah lengkung masing-masing RPM digunakan untuk menentukan 100% *power*.



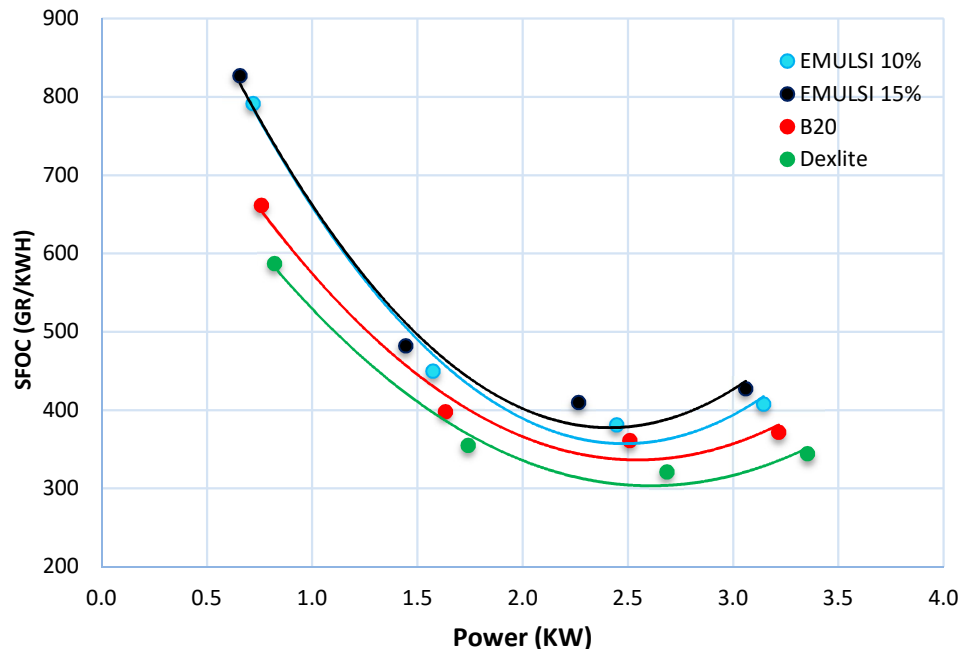
Gambar 4.5. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1800

Gambar 4.5. merupakan grafik perbandingan performa *SFOC* terhadap daya pada RPM 1800 untuk 4 variasi bahan bakar. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Dexlite menghasilkan *SFOC* motor diesel terendah yaitu 330,7 gr/kWh. Saat bahan bakar B20, *SFOC* motor diesel sebesar 366 gr/kWh. Saat bahan bakar emulsi 10% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel mengalami kenaikan sebesar 40,3 gr/kWh menjadi 403,6 gr/kWh. Pada bahan bakar emulsi 15% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel menjadi sebesar 445 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan dari 4 variasi bahan bakar diatas, daya yang paling besar dihasilkan di RPM 1800 pada penggunaan bahan bahan bakar Dexlite sebesar 2,177 kW. Bahan bakar campuran yakni B20, Emulsi air 10%, dan Emulsi air 15% semuanya mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan bahan bakar B20 menjadi 2,121 kW, Daya yang dihasilkan motor diesel menggunakan bahan bakar emulsi 10% sebesar 1,981 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya sebesar 1,870 kW.



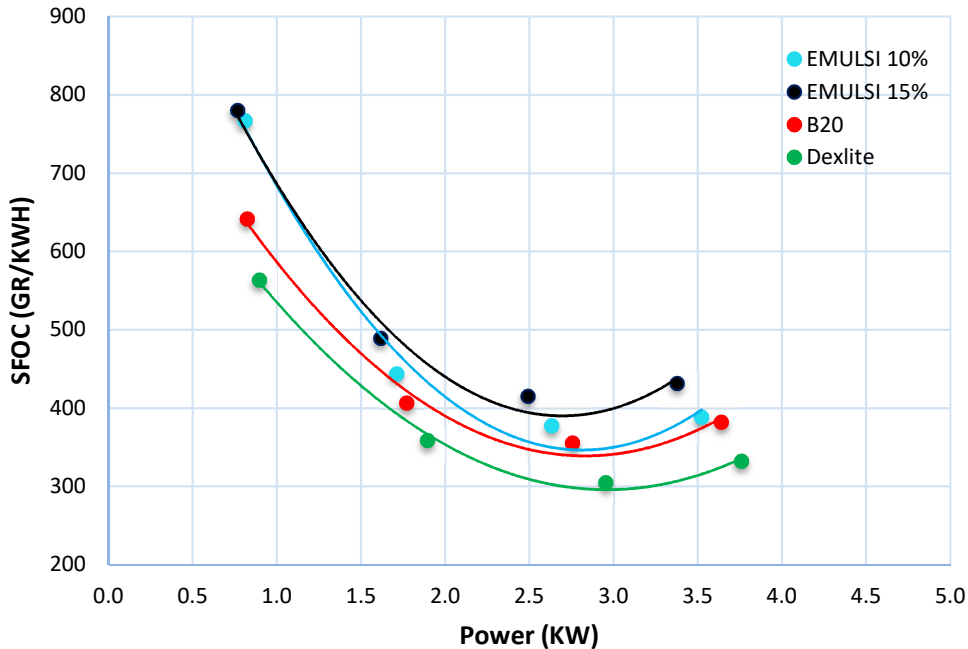
Gambar 4.6. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1900

Gambar 4.6. merupakan grafik perbandingan performa *SFOC* terhadap daya pada RPM 1900 untuk 4 variasi bahan bakar. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Dexlite menghasilkan *SFOC* motor diesel terendah yaitu 327,4 gr/kWh. Pada ada kondisi yang sama bahan bakar B20 *SFOC* sebesar 363,9 gr/kWh. Bahan bakar emulsi 10% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel menjadi 394,9 gr/kWh. Pada bahan bakar emulsi 15% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel mengalami kenaikan lagi yaitu sebesar 424,5 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan dari 4 variasi bahan bakar diatas, daya yang paling besar dihasilkan di RPM 1900 pada penggunaan bahan bahan bakar Dexlite sebesar 2,427 kW. Bahan bakar campuran yakni B20, Emulsi air 10%, dan Emulsi air 15% semuanya mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan bahan bakar B20 menjadi 2,281 kW, Daya yang dihasilkan motor diesel menggunakan bahan bakar emulsi 10% sebesar 2,196 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya sebesar 2,068 kW.



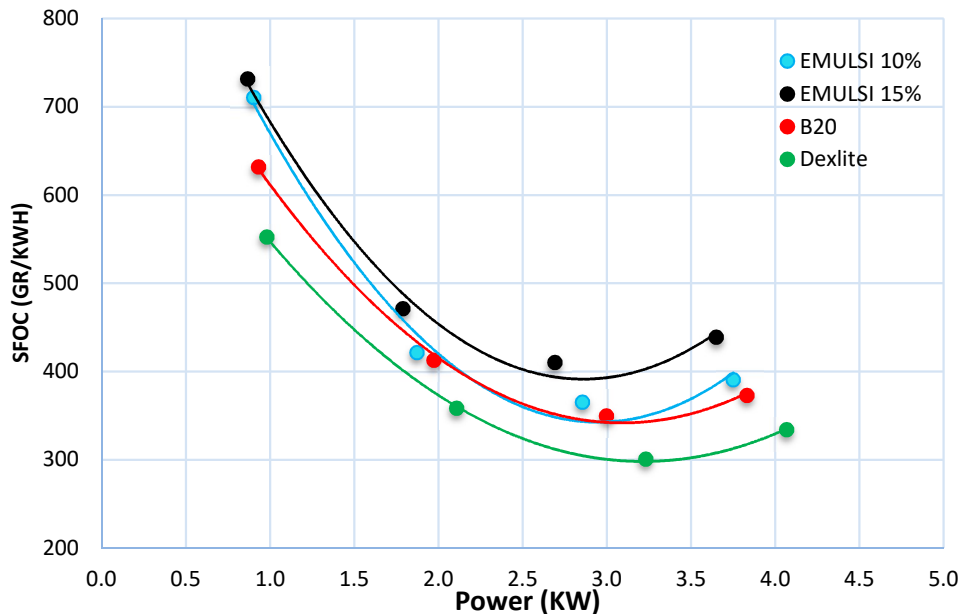
Gambar 4.7. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2000

Gambar 4.7. merupakan grafik perbandingan performa *SFOC* terhadap daya pada RPM 2000 untuk 4 variasi bahan bakar. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Dexlite menghasilkan *SFOC* motor diesel terendah yaitu 320,9 gr/kWh. Pada kondisi yang sama bahan bakar B20 menghasilkan *SFOC* sebesar 360,9 gr/kWh. Pada saat menggunakan bahan bakar emulsi 10% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel menjadi 381,2 gr/kWh. Pada bahan bakar emulsi 15% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel yaitu sebesar 409,7 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan dari 4 variasi bahan bakar diatas, daya yang paling besar dihasilkan di RPM 2000 pada penggunaan bahan bakar Dexlite sebesar 2,686 kW. Bahan bakar campuran yakni B20, Emulsi air 10%, dan Emulsi air 15% semuanya mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan bahan bakar B20 turun menjadi 2,509 kW, Daya yang dihasilkan motor diesel menggunakan bahan bakar emulsi 10% sebesar 2,447 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya sebesar 2,267 kW.



Gambar 4.8. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2100

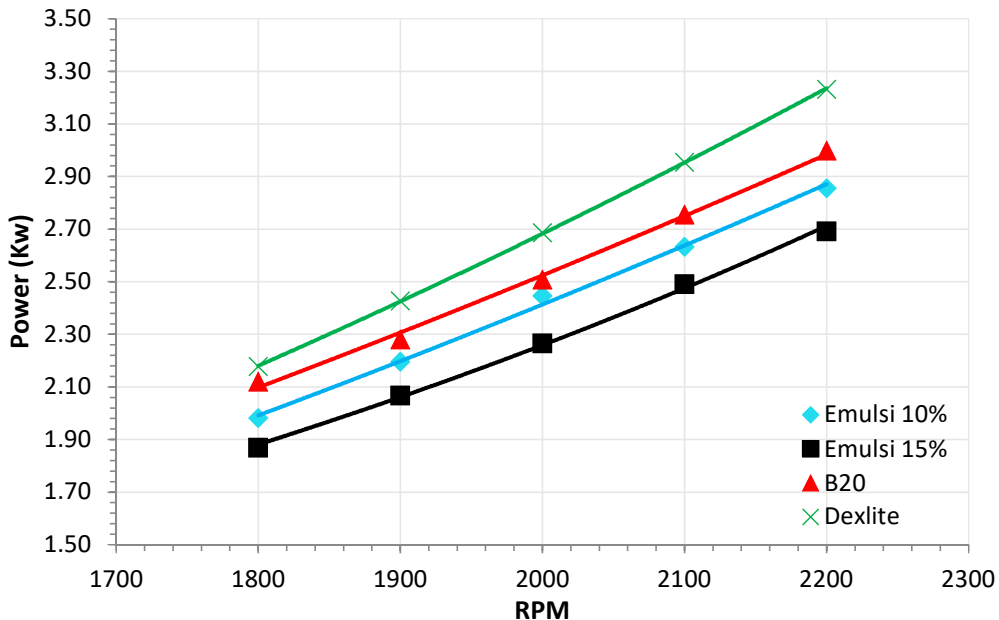
Gambar 4.8. merupakan grafik perbandingan performa *SFOC* terhadap daya pada RPM 2100 untuk 4 variasi bahan bakar. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Dexlite menghasilkan *SFOC* motor diesel terendah pada beban 3 yaitu 304,6 gr/kWh. Pada kondisi yang sama bahan bakar B20 menghasilkan *SFOC* sebesar 355,5 gr/kWh. Bahan bakar emulsi 10% menghasilkan *SFOC* motor diesel sebesar 377,2 gr/kWh dan pada bahan bakar emulsi 15% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel mengalami kenaikan yaitu sebesar 414,9 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan dari 4 variasi bahan bakar diatas, daya yang paling besar dihasilkan di RPM 2100 beban 3000 watt pada penggunaan bahan bahan bakar Dexlite sebesar 2,954 kW. Bahan bakar campuran yakni B20, Emulsi air 10%, dan Emulsi air 15% semuanya mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan bahan bakar B20 menjadi 2,756 kW, Daya yang dihasilkan motor diesel menggunakan bahan bakar emulsi 10% sebesar 2,632 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya sebesar 2,491 kW.



Gambar 4.9. Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2200

Gambar 4.9. merupakan grafik perbandingan performa *SFOC* terhadap daya pada RPM 2200 untuk 4 variasi bahan bakar. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Dexlite menghasilkan *SFOC* motor diesel terendah pada beban 3 yaitu 300,6 gr/kWh. Pada kondisi yang sama bahan bakar B20 menghasilkan *SFOC* sebesar 349,7 gr/kWh. Bahan bakar emulsi 10% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel menjadi 365,4 gr/kWh dan pada penggunaan bahan bakar emulsi 15% *SFOC* yang dihasilkan motor diesel menjadi sebesar 410,4 gr/kWh. Sedangkan daya yang dihasilkan dari 4 variasi bahan bakar diatas, daya yang paling besar dihasilkan di RPM 2200 beban 75% pada penggunaan bahan bahan bakar Dexlite sebesar 3,232 kW. Bahan bakar campuran yakni B20, Emulsi air 10%, dan Emulsi air 15% semuanya mengalami penurunan daya. Daya yang dihasilkan bahan bakar B20 turun menjadi 2,998 kW, Daya yang dihasilkan motor diesel menggunakan bahan bakar emulsi 10% sebesar 2,856 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya sebesar 2,692 kW

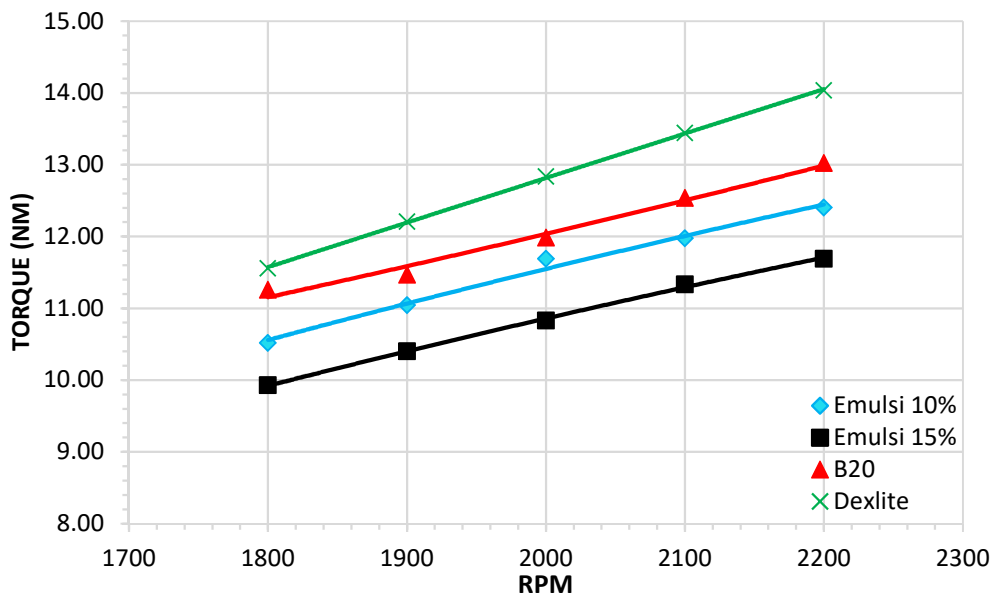
4.1.2. Analisa Performa Daya dengan RPM



Gambar 4.10. Performansi Daya vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

Gambar 4.10 adalah grafik performansi perbandingan *power* terhadap RPM pada variable campuran bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10% dan Emulsi Air 15%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% *power* yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap *power* dari masing masing variabel campuran bahan bakar. Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada bahan bakar Dexlite dan B20 menghasilkan daya yang hampir sama pada putaran 1800RPM bahan bakar dexlite menghasilkan daya yang sebesar 2,177 kW, sedangkan untuk bahan bakar B20 menghasilkan daya sebesar 2,121 kW. Bahan bakar emulsi 10% pada saat putaran awal 1800 RPM menghasilkan daya 1,98 kW, sedangkan bahan bakar emulsi 15% menghasilkan daya 1,87 kW. Keempat jenis variasi bahan bakar ini memiliki hasil daya terbesar pada grafik ini, yaitu pada RPM 2200 beban 100% masing masing bahan bakar yaitu Dexlite 2,954 kW, B20 2,75 kW, emulsi 10% 2,632 kW, dan 2,49 kW. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, penambahan biodiesel minyak kelapa sawit pada bahan bakar dexlite menurunkan *power* motor diesel, sementara penambahan air 10% & 15% pada B20 menurunkan *power* motor diesel secara signifikan baik pada campuran emulsi 10% dan 15%.

4.1.3. Analisa Performa Torsi dengan RPM

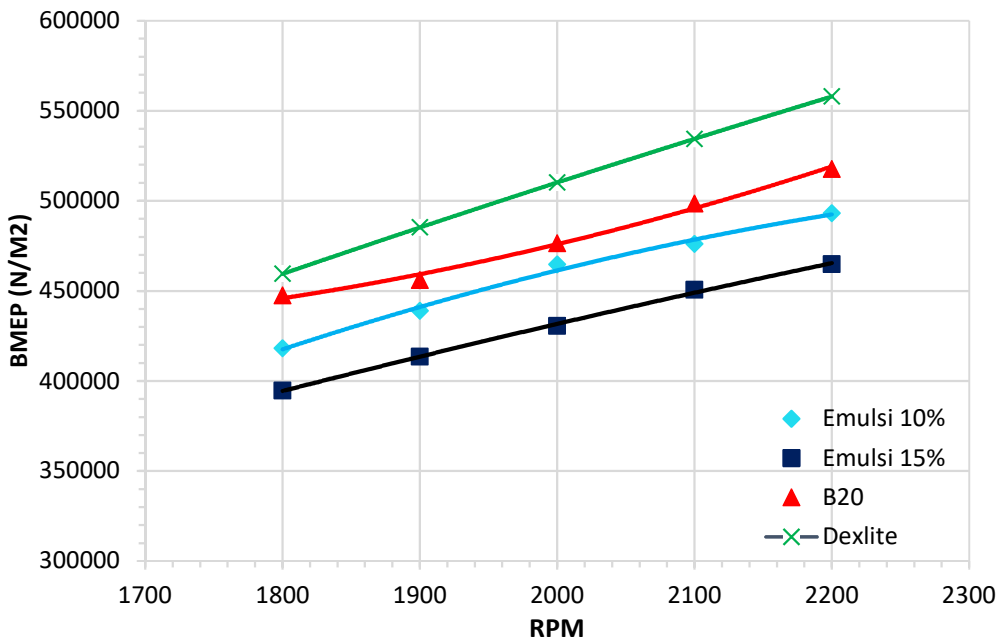


Gambar 4.11. Performansi Torsi vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

Gambar 4.11. adalah grafik performansi perbandingan Torsi terhadap RPM pada variable bahan bakar Dexlite, B20, emulsi 10% dan emulsi 15%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% torsi yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* terbaik disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap torsi dari masing masing variabel campuran bahan bakar.

Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada keempat variasi bahan bakar memiliki torsi pada 1800 RPM untuk bahan bakar Dexlite sebesar 11,56 Nm, B20 sebesar 11,26 Nm, emulsi sebesar 10% 10.52 Nm, dan emulsi 15% sebesar 9,93 Nm. Pada putaran awal 1800RPM bahan bakar Dexlite menghasilkan torsi lebih tinggi 0,3 Nm dari bahan bakar B20. Pada putaran awal emulsi 10% memiliki torsi lebih tinggi 0,59 Nm dibandingkan bahan bakar emulsi 15%. sedangkan pada RPM maksimal keempat variasi bahan bakar memiliki torsi untuk bahan bakar Dexlite sebesar 14,03 Nm, B20 sebesar 13,021 Nm, emulsi sebesar 10% 12,4 Nm, dan emulsi 15% sebesar 11,691 Nm.

4.1.4 Analisa Performa BMEP dengan RPM



Gambar 4.12. Performansi BMEP vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

Gambar 4.12 adalah grafik performansi perbandingan BMEP terhadap RPM pada variable bahan bakar Dexlite, B20, emulsi 10% dan emulsi 15%. Grafik diatas merupakan nilai dari 100% BMEP yang didapatkan dari nilai atau titik *SFOC* disetiap RPM pada grafik perbandingan antara *SFOC* terhadap torsi dari masing masing variabel campuran bahan bakar

Hasil dari pembacaan dan pengamatan grafik diatas, terlihat pada bahan bakar Dexlite dan B20 memiliki perbedaan BMEP sebesar sekitar 12000 Nm^2 pada putaran 1800RPM. Bahan Bakar emulsi 10% memiliki nilai BMEP lebih tinggi dari bahan bakar emulsi 15% yaitu sebesar 29000 Nm^2 pada saat 1800RPM. Pada putaran 2200RPM keempat variasi bahan bakar memiliki kenaikan nilai BMEP yang relative konstan dan tidak mengalami penurunan BMEP. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, penambahan biodiesel minyak kelapa sawit pada bahan bakar Dexlite menurunkan BMEP motor diesel, sementara penambahan 10% & 15% air pada campuran biodiesel juga menurunkan BMEP dari motor diesel.

Dari analisa peforma yang dimulai dari analisa grafik *SFOC*, efisiensi thermal, daya, torsi serta BMEP pada semua jenis bahan bakar Dexlite, B20, emulsi 10% & emulsi 15% akan dijadikan patokan untuk proses pengambilan data untuk proses pembakaran dan uji emisi NOx. Hasil dari biodiesel B20 dan Dexlite dari analisa grafik diatas dapat dikatakan tidak mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan

penambahan air pada bahan bakar Biodiesel B20 mengalami penurunan performa yang sangat signifikan.

4.1.5. Pembahasan Analisa performa

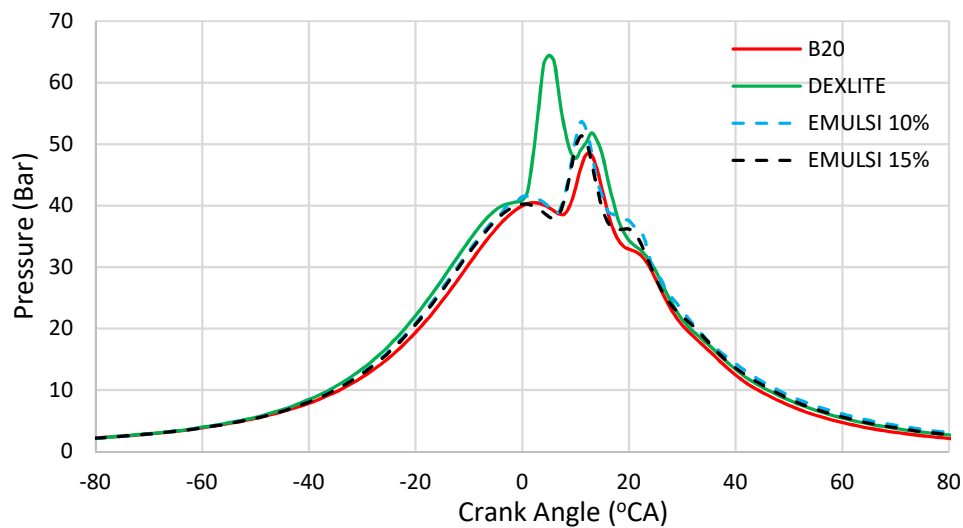
Dari pengamatan grafik SFOC terhadap Daya pada ke-empat variasi bahan bakar, bahan bakar Dexlite memiliki SFOC terendah pada RPM 2100 beban 75% yaitu sebesar 304,4 gr/kWh. Dan untuk SFOC terbaik pada bahan bakar B20 berada pada RPM 2100 beban 75% yaitu sebesar 355,5 gr/kWh, sedangkan bahan bakar emulsi 10% menghasilkan SFOC terbaik pada RPM 2100 beban 75% yakni sebesar 377,24 gr/kWh. Dan pada bahan bakar emulsi 15% SFOC terbaik pada RPM 2000 beban 3 yakni sebesar 409,7 gr/kWh. SFOC ini menjadi patokan menentukan full load dari tiap bahan bakar.

Dari hasil pengamatan pada grafik diatas terjadi penurunan mulai dari daya, torsi, dan BMEP dari penggunaan bahan bakar B20, emulsi 10 & 15% dari acuan bahan bakar yang digunakan yaitu Dexlite. Penurunan performa mesin dengan penggunaan 3 bahan bakar tersebut diakibatkan oleh karakteristik setiap bahan bakar. Karakteristik bahan bakar Dexlite menunjukkan karakteristik terbaik daripada ketiga bahan bakar lainnya. Hasil dari biodiesel B20 dan Dexlite dari analisa grafik diatas dapat dikatakan tidak mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan penambahan air pada bahan bakar Biodiesel B20 mengalami penurunan performa yang sangat signifikan. Penambahan air pada bahan bakar akan menurunkan performa mesin diesel, hal ini dibuktikan dari pengamatan grafik diatas, dan ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang sudah dilakukan pada penelitian penambahan air pada bahan bakar Pertamina Dex. Penurunan performa mesin diesel dari penggunaan keempat variasi bahan bakar bisa diakibatkan oleh proses pembakaran dari setiap bahan bakar. Maka dari itu akan dianalisa proses pembakaran dibawah ini. Dari analisa performa yang dimulai dari analisa grafik *SFOC*, efisiensi thermal, daya, torsi serta BMEP pada semua jenis bahan bakar Dexlite, B20, emulsi 10% & emulsi 15% akan dijadikan patokan untuk proses pengambilan data untuk proses pembakaran dan uji emisi NOx

4.2 Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%

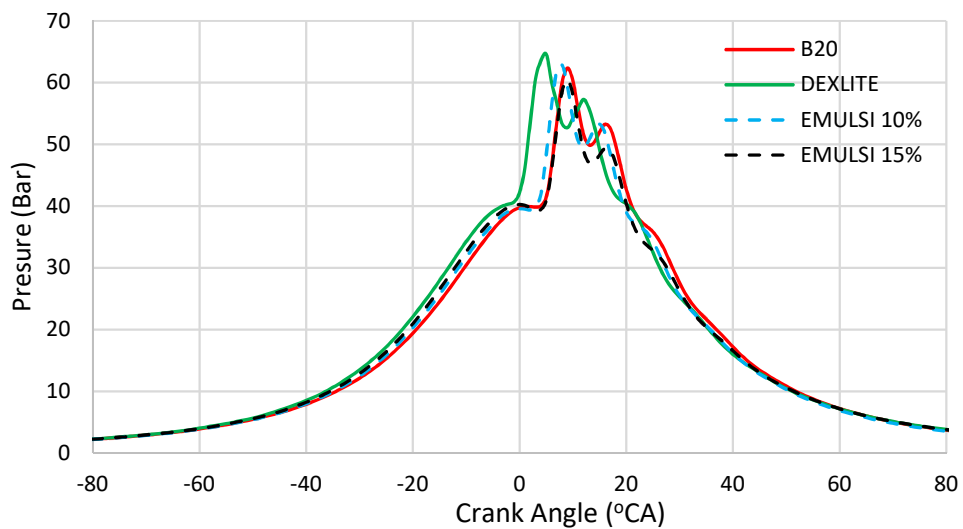
Pada proses pengambilan data untuk hasil proses pembakaran ini, Titik pengambilan ditentukan berdasarkan aturan IMO MARPOL Annex VI tentang *test cycle* untuk pengujian emisi NOx. Test cycle yang diatur oleh MARPOL Annex VI ini menyatakan bahwa pengujian dilakukan pada pembebanan sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% pada titik 100% RPM motor diesel. Pengambilan data hasil proses pembakaran basedar test cycle emisi NOx adalah untuk menganalisa seberapa besar pengaruh perubahan proses pembakaran terhadap penurunan kandungan NOx.

4.2.1. Analisa *Pressure* Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%



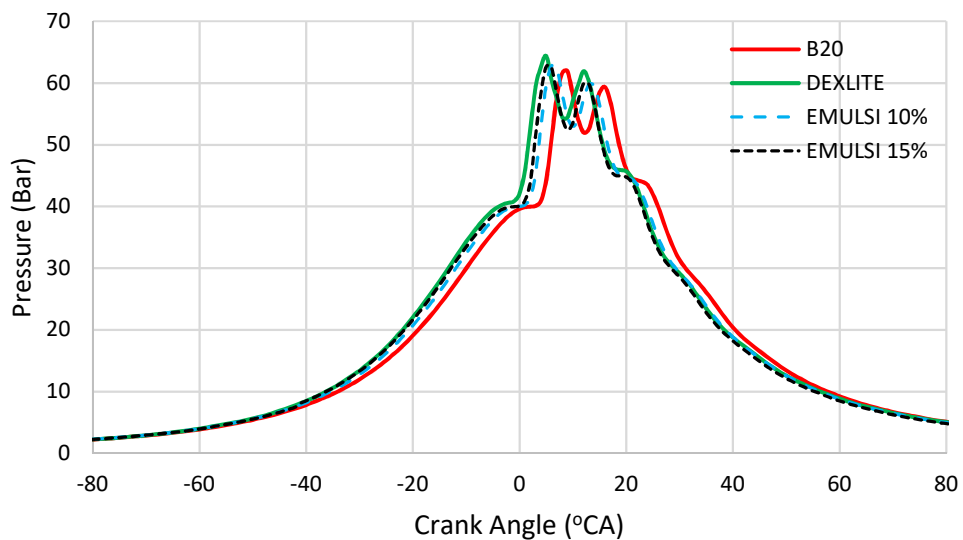
Gambar 4.13. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan beban 25%

Gambar 4.13. adalah grafik *pressure* maksimal dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15% pada RPM 2200 Beban 25%. Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi adalah Dexlite dengan nilai 64,45 bar pada posisi 5⁰ setelah TMA, kemudian Emulsi 10% dengan nilai 53,63 bar pada 11⁰ setelah TMA, selanjutnya emulsi 15% dengan nilai 51,325 bar pada 11⁰ posisi dan B20 dengan nilai 45,94 bar pada posisi 14⁰ setelah TMA.



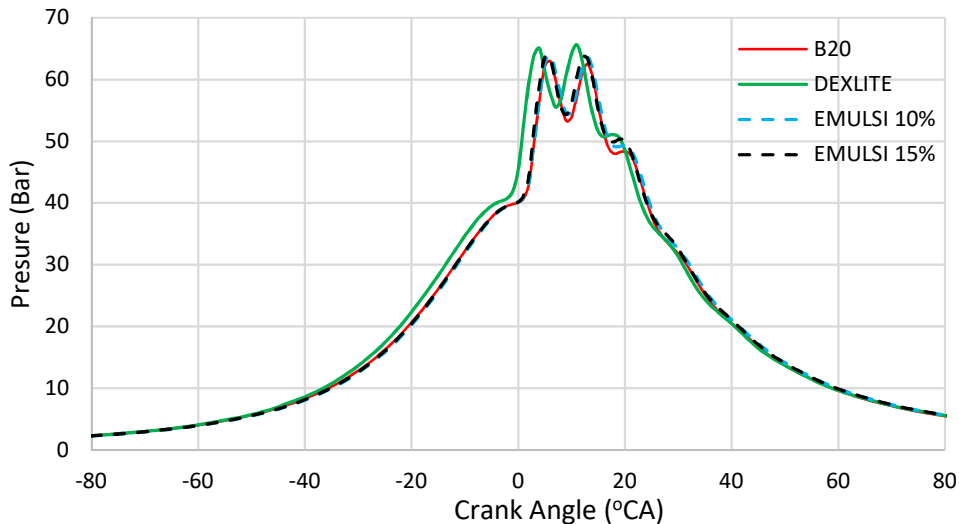
Gambar 4.14. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan beban 50%

Gambar 4.14. adalah grafik *pressure* maksimal dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15% pada RPM 2200 beban 50%. Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi adalah Dexlite dengan nilai 64,6 bar pada posisi 5⁰ setelah TMA, kemudian Emulsi 10% dengan nilai 62,83 bar pada 8⁰ setelah TMA, selanjutnya B20 dengan nilai 62,37 bar pada posisi 9⁰ setelah TMA. Dan emulsi 15% dengan nilai 60,64 bar pada 9⁰ posisi setelah TMA



Gambar 4.15. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan beban 75%

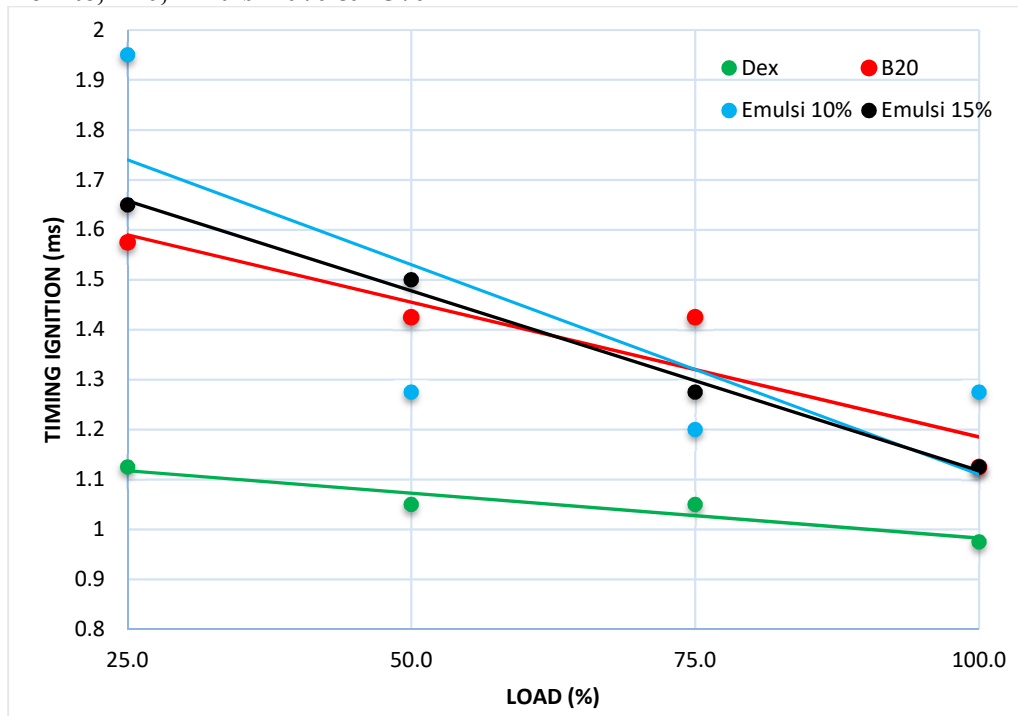
Gambar 4.15. adalah grafik *combustion pressure* maksimal dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15% pada RPM 2200 beban 75%. Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi adalah Dexlite dengan nilai 64,3 bar pada posisi 5° setelah TMA, kemudian Emulsi 10% dengan nilai 62,7 bar pada 6° setelah TMA, selanjutnya emulsi 15% dengan nilai 62,67 bar pada 5° posisi setelah TMA. Dan B20 dengan nilai 61,89 bar pada posisi 9° setelah TMA



Gambar 4.16. Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan Beban 4

Gambar 4.16. adalah grafik *combustion pressure* maksimal dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15% pada RPM 2200 beban 100%. Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi adalah Dexlite dengan nilai 65,0 bar pada posisi 4° setelah TMA, kemudian Emulsi 10% dengan nilai 63,9 bar pada 6° setelah TMA, selanjutnya emulsi 15% dengan nilai 62,7 bar pada 6° posisi setelah TMA. Dan B20 dengan nilai 62,9 bar pada posisi 5° setelah TMA

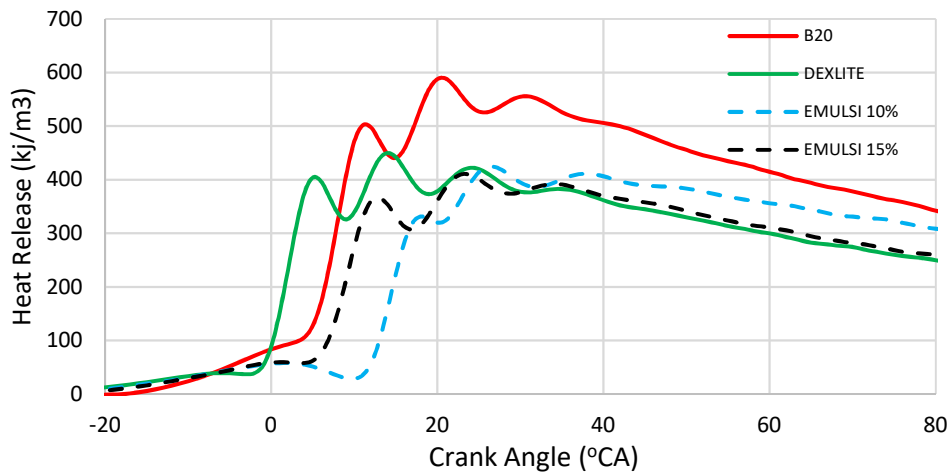
4.2.2. Analisa *Ignition Delay* Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%



Gambar 4.17. Grafik *Timing Ignition* pada 100% RPM

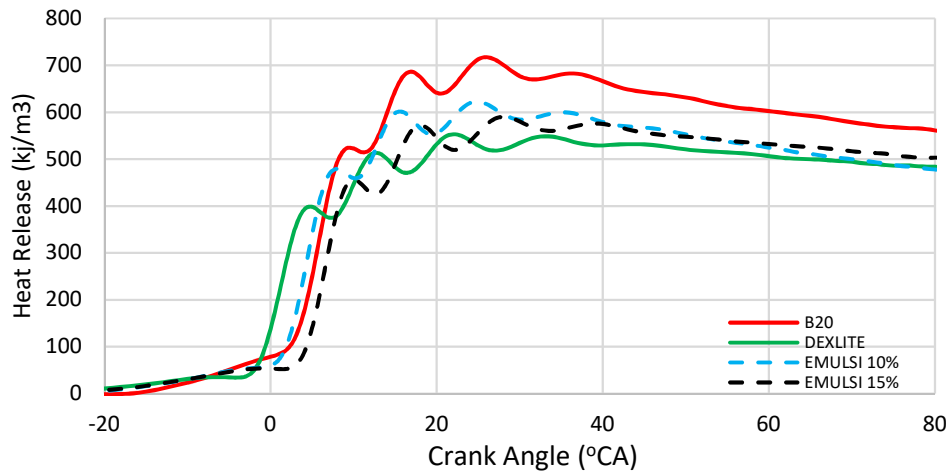
Gambar 4.26. adalah grafik *Ignition delay* pada derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Dari karakteristik mesin Yanmar TF85, bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Dalam beban 25%, Dexlite merupakan jenis bahan bakar yang paling cepat waktu penginjeksiannya yaitu 1.12 ms, kemudian bahan bakar B20 yaitu sebesar 1,57 ms. Selanjutnya bahan bakar emulsi 15% yaitu 1,65 ms. Dan bahan bakar emulsi 10% memiliki timing ignition paling lama pada beban 25% yaitu 1,95 ms. Namun, pada kondisi pembebanan 50% hingga 75%, emulsi 10% mengalami penurunan yang signifikan yaitu 1,28 ms dan 1,2 ms. Pada *load* 100% emulsi 10% mengalami kenaikan lagi menjadi 1,29 ms.

4.2.3. Analisa *Heat Release* Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%



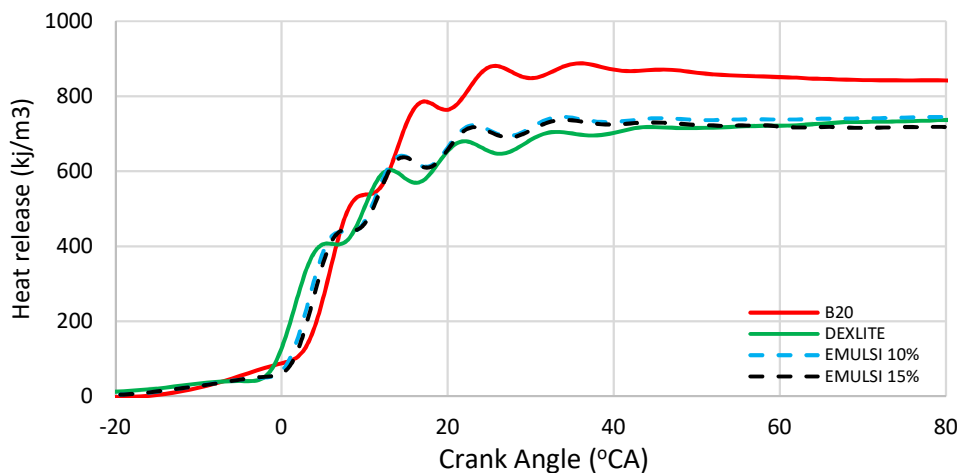
Gambar 4.18. Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan beban 25%

Gambar 4.18. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* pada 100% RPM dengan beban 25% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* tertinggi pada bahan bakar B20 dengan nilai 588,7 kJ/m³ pada posisi 21° setelah TMA, kemudian Dexlite dengan nilai 449,8 kJ/m³ pada 14° setelah TMA. Selanjutnya emulsi 10% dengan nilai 423,71 kJ/m³ pada posisi 26° setelah TMA. Dan emulsi 15% dengan nilai 410,4 kJ/m³ pada posisi 23° setelah TMA



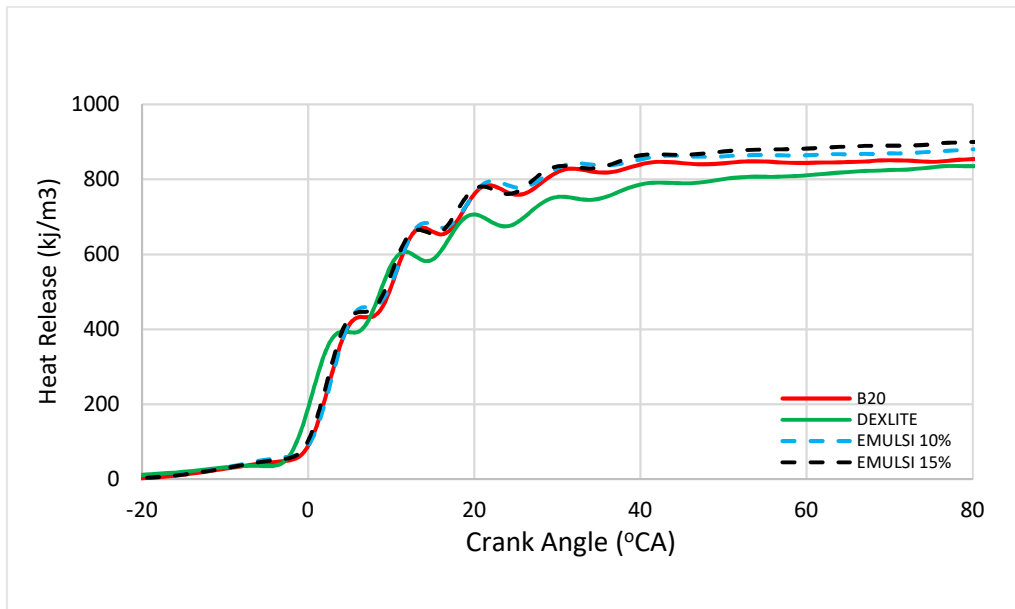
Gambar 4.19. Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 50%

Gambar 4.32. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* pada 100% RPM dengan Beban 50% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Bahan bakar B20 memiliki nilai heat release sebesar 717,73 kJ/m³ pada posisi 26⁰ setelah TMA, kemudian emulsi 10% dengan nilai 622,96 kJ/m³ pada 25⁰ setelah TMA. Selanjutnya emulsi 15% dengan nilai 590,25 kJ/m³ pada posisi 28⁰ setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 553,09 kJ/m³ pada posisi 22⁰ setelah TMA



Gambar 4.20. Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 75%

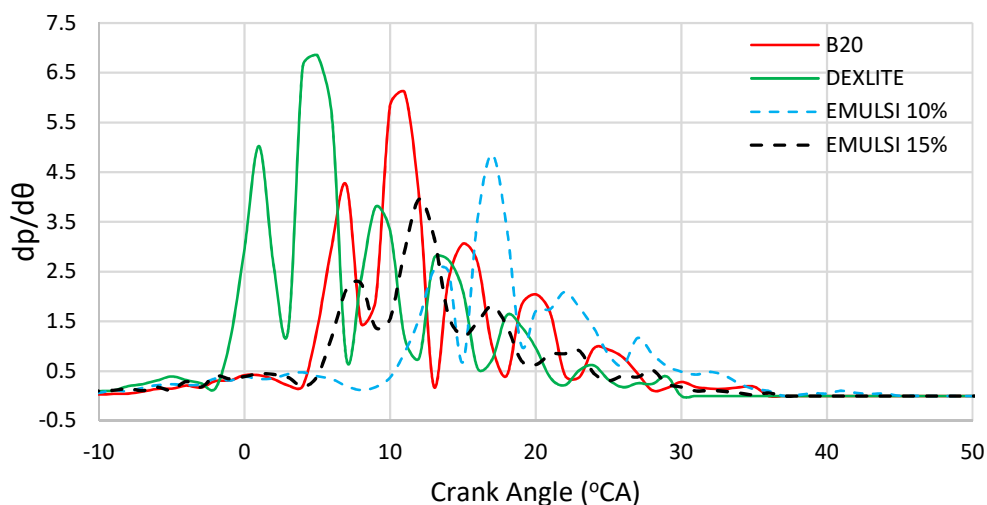
Gambar 4.21. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* pada 100% RPM dengan Beban 75% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* tertinggi adalah B20 dengan nilai 887,74 kJ/m³ pada posisi 36⁰ setelah TMA, kemudian emulsi 10% dengan nilai 744,92 kJ/m³ pada 34⁰ setelah TMA. Selanjutnya emulsi 15% dengan nilai 736,62 kJ/m³ pada posisi 34⁰ setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 717,73 kJ/m³ pada posisi 44⁰ setelah TMA.



Gambar 4.22. Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 100%

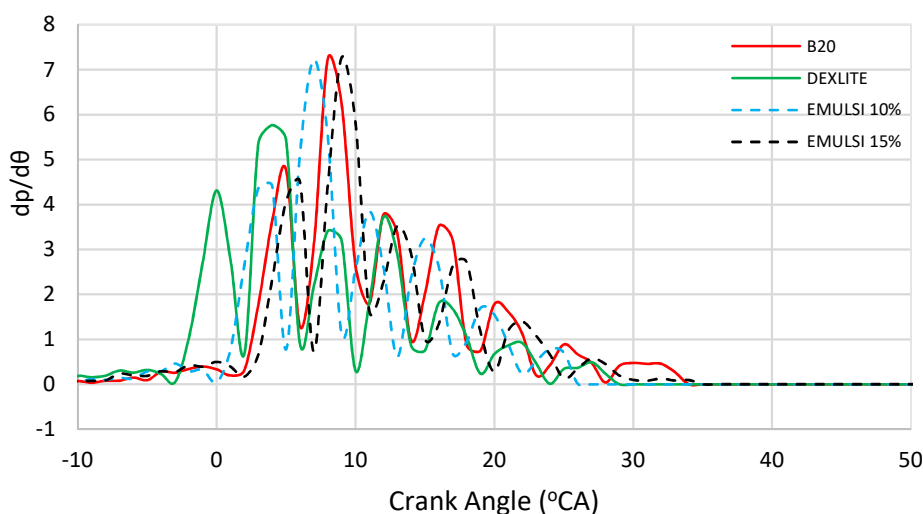
Gambar 4.22. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* pada 100% RPM dengan Beban 100% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* adalah emulsi 15% dengan nilai 906,07 kJ/m³ pada posisi 90⁰ setelah TMA, kemudian emulsi 10% dengan nilai 890,06 kJ/m³ pada 90⁰ setelah TMA. Selanjutnya B20% dengan nilai 857,98 kJ/m³ pada posisi 90⁰ setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 846 kJ/m³ pada posisi 90⁰ setelah TMA. Semua memiliki nilai *heat release* pada *crank angle* 90⁰

4.2.4. Analisa *Knocking* Proses Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%



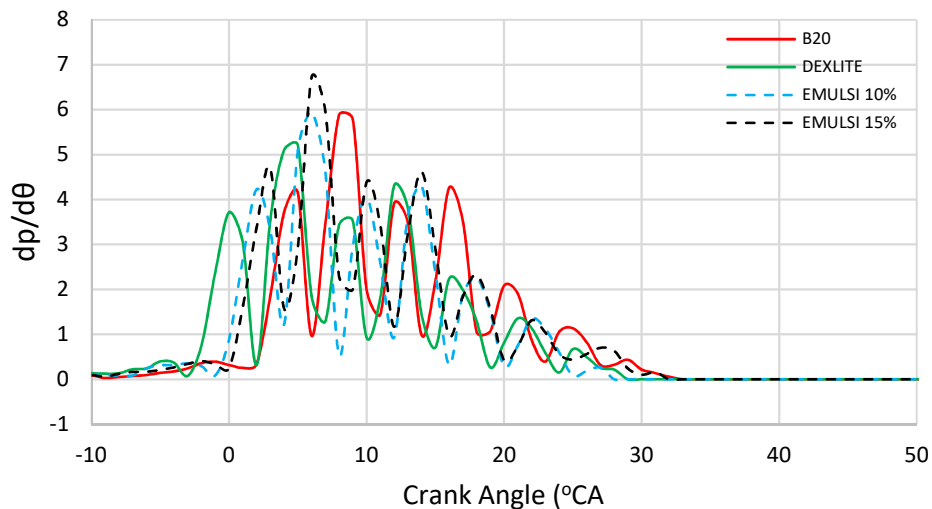
Gambar 4.23. Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 25%

Gambar 4.23. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dengan Beban 25% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Bahan bakar Dexlite memiliki nilai knocking 6,85 dp/dθ pada posisi 5⁰ setelah TMA, kemudian B20 dengan nilai 6,11 dp/dθ pada 11⁰ setelah TMA. Selanjutnya emulsi 10% dengan nilai 4,86 dp/dθ pada posisi 17⁰ setelah TMA. Dan emulsi 15% dengan nilai dp/dθ bar pada posisi 12⁰ setelah TMA.



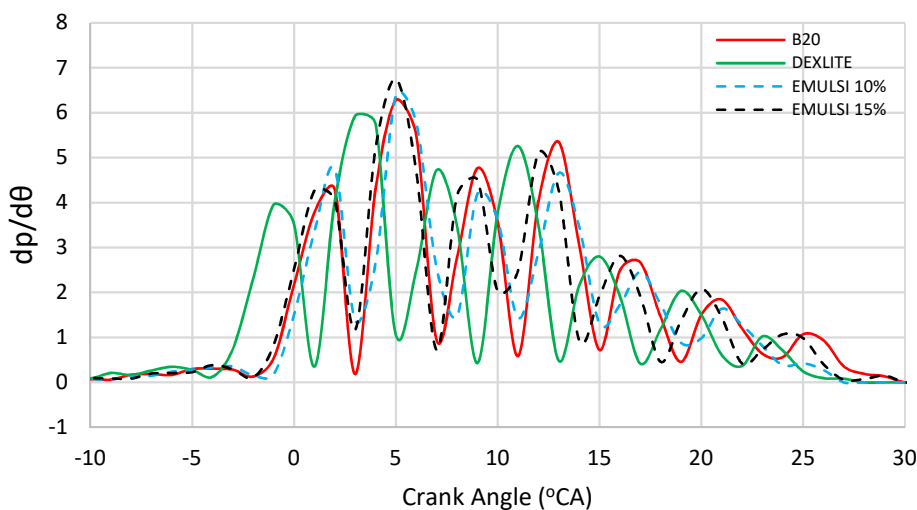
Gambar 4.23. Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 50%

Gambar 4.23. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dengan Beban 50% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Bahan bakar Emulsi 15% memiliki knocking tertinggi dengan nilai 7,27 dp/dθ pada posisi 9° setelah TMA, kemudian B20 dengan nilai 7,23 dp/dθ pada 11° setelah TMA. Selanjutnya emulsi 10% dengan nilai 7,23 dp/dθ pada posisi 7° setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 5,77 dp/dθ pada posisi 4° setelah TMA.



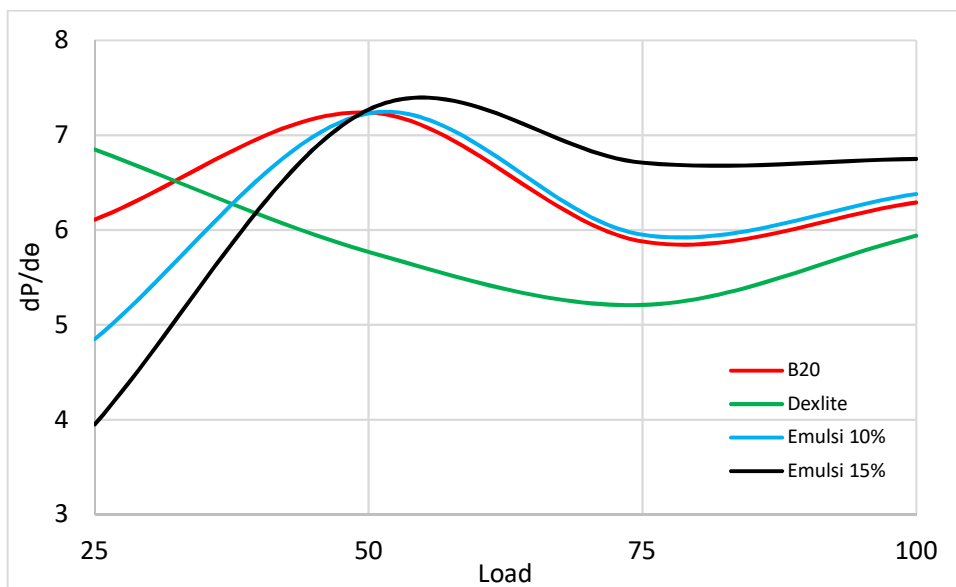
Gambar 4.24. Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 75%

Gambar 4.24. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dengan Beban 75% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Bahan bakar Emulsi 15% memiliki nilai Knok Detection tertinggi dengan nilai 6,72 dp/dθ pada posisi 6° setelah TMA, kemudian emulsi 10% dengan nilai 5,95 dp/dθ pada 6° setelah TMA. Selanjutnya B20 dengan nilai 5,89 dp/dθ pada posisi 8° setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 5,93 dp/dθ pada posisi 3° setelah TMA.



Gambar 4.25. Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 100%

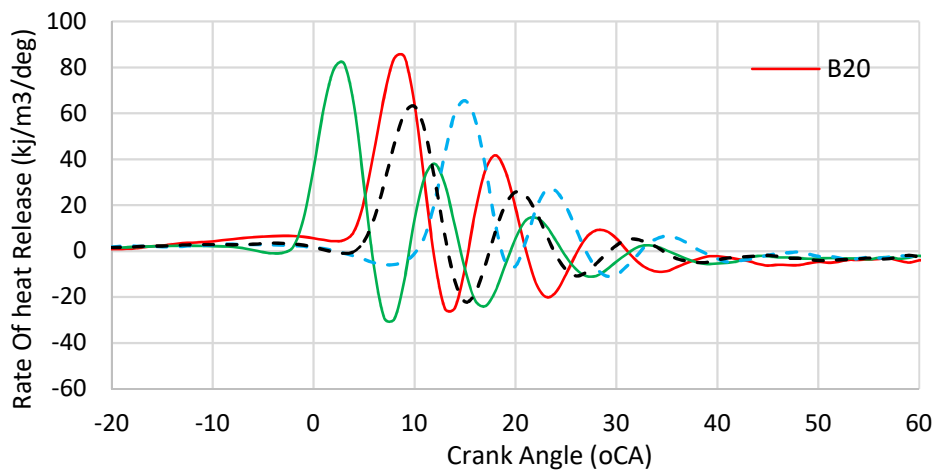
Gambar 4.25. adalah Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dengan Beban 100% dari bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%. Emulsi 15% nilai *Knock Detection* tertinggi dengan nilai 6,75 dp/dθ pada posisi 5° setelah TMA, kemudian emulsi 10% dengan nilai 6,38 dp/dθ pada 5° setelah TMA. Selanjutnya B20 dengan nilai 6,29 dp/dθ pada posisi 5° setelah TMA. Dan Dexlite dengan nilai 5,93 dp/dθ pada posisi 3° setelah TMA.



Gambar 4.26. Grafik *Knock Detection* pada bahan bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% dan Emulsi 15%

Dapat dilihat pada grafik diatas menunjukkan bahwa grafik Knock Detection pada Rpm 2200, dengan variasi beban dari bahan bakar Emulsi, Dexlite dan B20. Dan pada grafik diatas memiliki nilai 6,85, 5,77, 5,21, 5,94 dQ/d θ pada bahan bakar Dexlite, kemudian 6,11, 7,24, 5,88, 6,29 dQ/d θ pada bahan bakar B20, dan 4,85, 7,23, 5,95, 6,38 dQ/d θ pada bahan bakar emulsi 10%. Selanjutnya 3,95, 7,27, 6,71, 6,75 Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa pada putaran yang sama dan beban yang sama nilai knocking tidak stabil. Dan pada beban 3 terjadi penurunan nilai knock detection

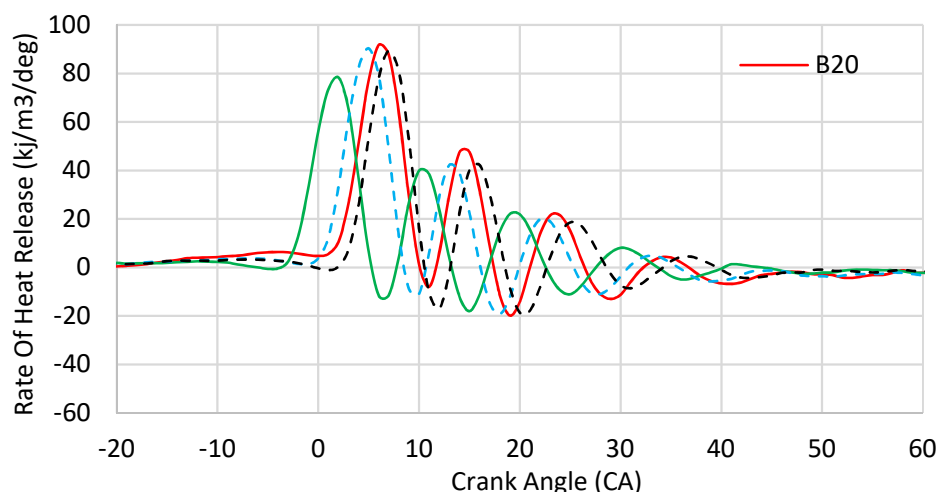
4.2.5. Analisa *Rate of Heat Release* Pembakaran Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi 10% & 15%



Gambar 4.26. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM Beban 25%

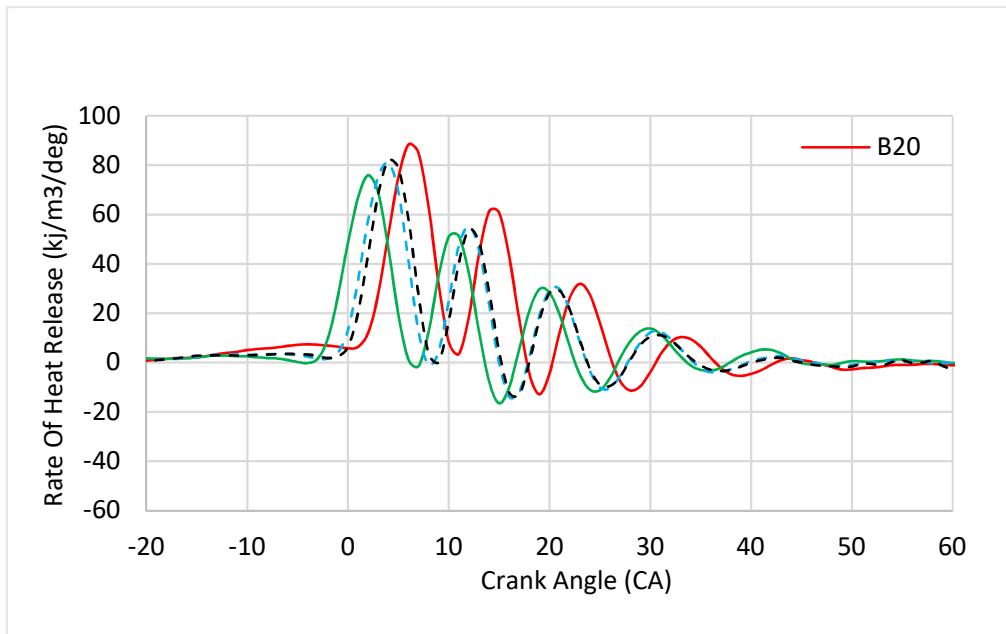
Gambar 4.26 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan beban 25%. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* serta lama waktu tunda pembakaran atau *ignition delay* saat keempat variasi bahan bakar digunakan pada ke motor diesel. Pada analisis *peak of Rate of heat release*, penambahan prosentase air menyebabkan puncak *rate of heat release* sedikit turun. Untuk *ignition delay*, lama *ignition delay* dapat dilihat dari jarak waktu antara proses *injection timing* atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal *heat release* dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik, penambahan air pada bahan bakar menyebabkan awal *heat release* bergerak kearah kanan, yang berarti *ignition delay* semakin panjang. Bahan bakar Dexlite titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 2°CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3 °CA setelah TMA, bahan bakar emulsi 10% titik

awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 9°CA setelah TMA. sedangkan emulsi 15% titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4°CA setelah TMA



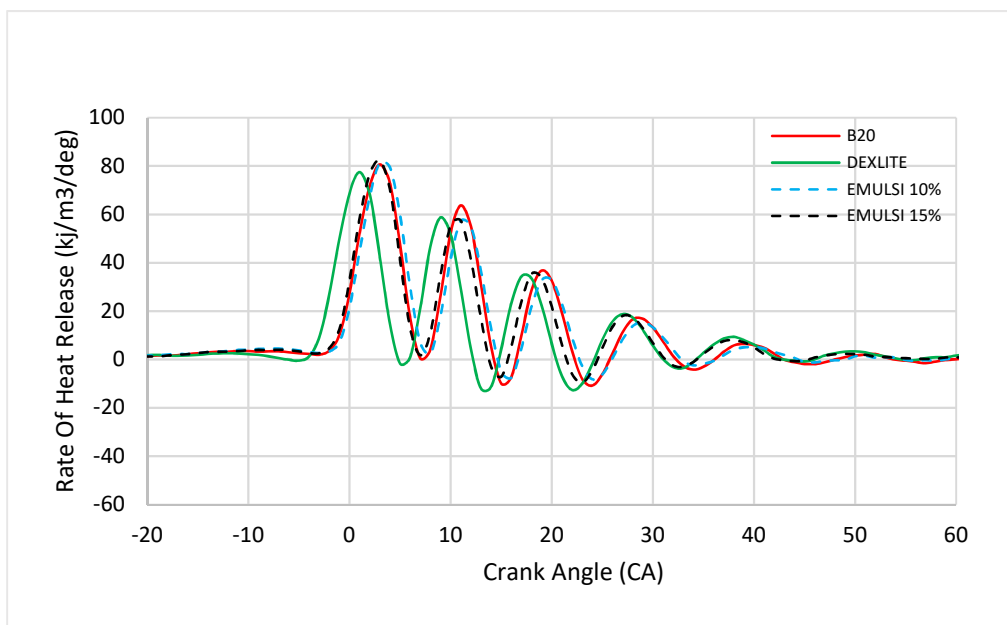
Gambar 4.27. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan Beban 50%

Gambar 4.27 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan beban 50%. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat keempat variasi bahan bakar digunakan pada ke motor diesel. Pada analisis peak of *Rate of heat release*, penambahan prosentase air menyebabkan puncak *rate of heat release* turun dibanding B20. Untuk ignition delay, lama ignition delay dapat dilihat dari jarak waktu antara proses injection timing atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18°CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan air pada bahan bakar menyebabkan awal heat release bergerak kearah kanan, yang berarti ignition delay semakin panjang. Bahan bakar Dexlite titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4°CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 1°CA setelah TMA, bahan bakar emulsi 10% titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 1°CA sebelum TMA. sedangkan emulsi 15% titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 2°CA setelah TMA



Gambar 4.28. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan beban 75%

Gambar 4.28 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan beban 75%. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat keempat variasi bahan bakar digunakan pada motor diesel. Pada analisis peak of Rate of heat release, penambahan prosentase air menyebabkan puncak *rate of heat release* turun dibanding bahan bakar B20. Untuk ignition delay, lama ignition delay dapat dilihat dari jarak waktu antara proses injection timing atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal heat release dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan air pada bahan bakar menyebabkan awal heat release bergerak ke arah kanan, yang berarti ignition delay semakin panjang. Bahan bakar Dexlite titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 4 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 1 °CA setelah TMA, bahan bakar emulsi 10% titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 2 °CA sebelum TMA. sedangkan emulsi 15% titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada 1 °CA sebelum TMA.



Gambar 4.29. Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan beban 100%

Gambar 4.29 adalah adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dengan beban 100%. Pada grafik *rate of heat release* dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* serta lama waktu tunda pembakaran atau *ignition delay* saat keempat variasi bahan bakar digunakan pada ke motor diesel. Pada analisis *peak of Rate of heat release*, penambahan prosentase air menyebabkan puncak *rate of heat release* turun dibanding bahan bakar B20. Untuk *ignition delay*, lama *ignition delay* dapat dilihat dari jarak waktu antara proses *injection timing* atau titik penginjeksian bahan bakar dengan awal bahan bakar tersebut terbakar atau awal *heat release* dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, motor diesel yang digunakan adalah Yanmar tipe tf85di dengan injeksi awal bahan bakar pada 18 °CA sebelum TMA. Dapat dilihat pada grafik penambahan air pada bahan bakar menyebabkan awal *heat release* bergerak ke arah kanan, yang berarti *ignition delay* semakin panjang. Bahan bakar Dexlite titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 5 °CA sebelum TMA, B20 mempunyai titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3 °CA setelah TMA, bahan bakar emulsi 10% titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 2 °CA sebelum TMA. sedangkan emulsi 15% titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada 3 °CA sebelum TMA.

4.2.6. Analisa Proses Pembakaran

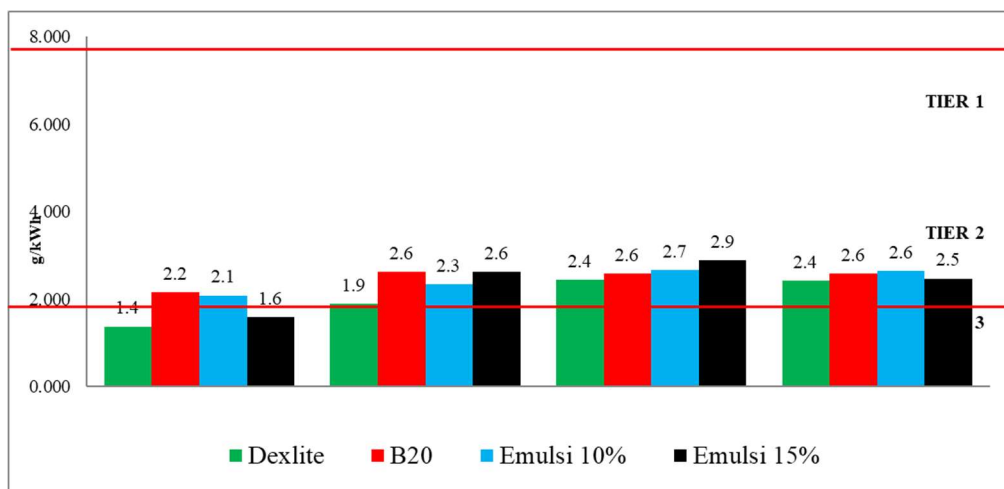
Analisa dilakukan terhadap hasil proses pembakaran, meliputi *combustion pressure*, *rate of heat release* dan *ignition delay*. Dari hasil analisa grafik yang didapatkan dalam proses eksperimen, penambahan prosentase air pada bahan bakar mengakibatkan *peak pressure* pada saat pembakaran menjadi lebih tinggi dari pada Bahan bakar B20. Hal ini sejalan dengan referensi dan beberapa teori dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menerangkan bahwa penambahan air pada kandungan

bahan bakar dapat mengakibatkan combustion pressure menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh kandungan air yang banyak mengandung oksigen (O_2). Oksigen menjadi komponen utama pada proses pembakaran, bertambahnya oksigen pada ruang bakar menyebabkan pressure pada ruang bakar meningkat. Penambahan air juga menyebabkan terjadinya microexplosion sehingga.

Oksigen yang terkandung dalam bahan bakar akan mempengaruhi pelepasan panas sering kita kenal dengan istilah *heat release*. Pada grafik hasil eksperimen menunjukkan bahwa grafik heat release pada saat bahan bakar emulsi mengakibatkan awal pelepasan panas terjadi lebih lambat dibandingkan dengan motor diesel berbahan Dexlite maupun B20. Hal ini biasa juga disebut mundurnya *igniton timing* yang berdampak pada ignition delay yang semakin panjang. Selain itu rata-rata pelepasan panas (ROHR) menjadi menurun, hal ini terlihat ketika grafik telah mencapai peak heat release. Heat release bahan bakar emulsi pada kondisi RPM maksimal lebih tinggi daripada bahan bakar Dexlite dan B20, akan tetapi daya yang dihasilkan oleh bahan bakar emulsi lebih rendah daripada penggunaan bahan bakar Dexlite dan B20. Hal ini disebabkan oleh efisiensi dari pemanfaatan panas dari bahan bakar emulsi lebih rendah. Daya yang lebih rendah juga dipengaruhi oleh timing ignition bahan bakar ke ruang bakar atau sering disebut *combustion camber*. Telatnya penginjeksian ini menyebabkan meledaknya bahan bakar pada saat kondisi piston tidak tepat pada posisi TMA, hal ini menyebabkan *pressure* mesin diesel menjadi turun. Dan hal ini menyebabkan proses knocking. Knocking yang terlalu tinggi akan mempengaruhi performa dari mesin diesel.

4.3 Kandungan NO_x Motor Diesel Berbahan Bakar Dexlite, B20 minyak sawit, Emulsi 10% & 15%

Secara umum, penyebab utama munculnya emisi yang beracun adalah karena hasil proses pembakaran motor diesel yang tidak sempurna. Salah satu diantara emisi tersebut adalah NO_x. Emisi NO_x terbentuk selama proses pembakaran berlangsung. NO_x dapat terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu pada kondisi temperatur ruang bakar yang sangat tinggi. Pada MARPOL Annex VI. Yang dikeluarkan oleh *International Maritime Organisation* (IMO) membahas tentang standar atau ambang batas emisi NO_x yang diperbolehkan dari emisi gas buang motor diesel.



Gambar 4.30 Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi.

Gambar 4.30 adalah Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban pada motor diesel dengan bahan bakar Dexlite, B20, emulsi 10% dan emulsi 15%. Pada penelitian sebelumnya, emisi NOx pada motor diesel dengan bahan bakar Pertamina dex yang dicampur air mengalami penurunan emisi NOx yang cukup signifikan. Penambahan air pada bahan bakar B20 dimaksudkan untuk mereduksi kadar emisi NOx yang dihasilkan oleh bahan bakar minyak jelantah tersebut.

Dari hasil pengamatan grafik, kadar emisi NOx yang dihasilkan bahan bakar Dexlite secara berturut-turut adalah 1,4 g/kWh, 1,9 g/kWh, 2,4 g/kWh dan 2,4 g/kWh. Pada kondisi beban 25%, emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 3, namun pada beban 50% hingga 100% yang masuk dalam kualifikasi TIER 2, aturan terbaru yang dikeluarkan IMO untuk mesin terbaru. Pada BAB II dijelaskan bahwa kualifikasi TIER 1 adalah emisi NOx antara 7,7 sampai 9,8 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM. Kualifikasi TIER 2 adalah emisi NOx motor diesel antara 1,96 sampai 7,7 g/kWh pada putaran 2000RPM. Kualifikasi TIER 3 adalah emisi NOx motor diesel yang kurang dari 1,96 g/kWh pada putaran lebih dari 2000RPM.

Pada bahan bakar B20, kadar emisi NOx yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 2,2 g/kWh, 2,6 g/kWh, 2,6 g/kWh dan 2,6 g/kWh. Kenaikan emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 paling signifikan terjadi pada beban 25%. Dan pada kondisi beban 50% hingga 100% bahan bakar B20 mempunyai kandungan NOx yang constant. Hasil dari penggunaan bahan bakar B20, emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Pada bahan bakar emulsi 10%, kadar emisi NOx yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 2,1 g/kWh, 2,3 g/kWh, 2,7 g/kWh dan 2,6 g/kWh. Pada kondisi beban 25% hingga 100% terjadi penurunan emisi masing-masing sebesar 0,1 gr/kWh, 0,3 gr/kWh dibanding penggunaan bahan bakar B20. Pada beban 3 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 0,1 g/kWh. Sedangkan pada beban 4 tidak terjadi kenaikan maupun penurunan emisi NOx. Hasil dari penggunaan bahan bakar emulsi 10%, emisi NOx masuk dalam kualifikasi TIER 2.

Sedangkan pada bahan bakar emulsi 15%, kadar emisi NO_x yang dihasilkan secara berturut-turut adalah 1,6 g/kWh, 2,6 g/kWh, 2,9 g/kWh dan 2,5 g/kWh. Pada kondisi beban 25% terjadi penurunan emisi sebesar 0,5 gr/kWh dibanding penggunaan bahan bakar B20. Akan tetapi pada beban 75% emisi NO_x yang dihasilkan lebih tinggi dari penggunaan bahan bakar B20, yakni 0,3 gr/kWh dari penggunaan bahan bakar B20. Namun hasil dari bahan bakar emulsi 15% pada beban 25% mampu memenuhi syarat TIER3 yaitu di kadar NO_x maksimal 1,6 gr/kWh pada motor dengan putaran diatas 2000RPM.

Dapat disimpulkan, penambahan air mampu menurunkan kadar NO_x pada beban rendah, namun pada beban 50% emisi NO_x mengalami kenaikan, namun kenaikan NO_x tidak terlalu signifikan. Hasil dari emisi NO_x bahan bakar emulsi beban 25% dari motor diesel mampu memenuhi klasifikasi TIER 3 dari aturan IMO dalam MARPOL Annex VI yang mengatur tentang polusi udara.

Menurunnya *peak pressure*, *ignition delay* yang semakin panjang serta *rate of heat release* yang lebih rendah menyebabkan emisi yang dihasilkan berupa NO_x lebih kecil dibandingkan keadaan asli. Kenaikan emisi NO_x yang cukup signifikan dikarenakan proses pembakaran motor diesel yang kurang sempurna. Kenaikan heat release pada bahan bakar emulsi 10% dan 15% tidak diimbangi dengan efisiensi thermal dari proses pembakarannya. Hal ini sebenarnya sudah bisa terprediksi jika kita melihat dari grafik sebelumnya tentang combustion pressure dan rate of heat release. grafik heat release dan pressure menunjukkan penurunan pressure dan kenaikan heat release yang tidak jauh berbeda pada setiap bahan bakar.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu pengaruh penggunaan air pada bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel Dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut:

- a. Performa yang dihasilkan oleh bahan bakar emulsi 10% dan 15% memiliki hasil yang turun dilihat dari SFOC, Daya, Torsi dan juga pada nilai BMEP pada setiap RPM. Secara detail, bahan bakar emulsi 10% memiliki hasil yang sedikit lebih baik dari emulsi 15%. Efek penambahan air pada bahan bakar B20 menyebabkan nilai Daya, Torsi dan BMEP turun pada motor diesel.
- b. Pada analisa proses pembakaran, penggunaan air dalam bahan bakar emulsi dapat mengakibatkan *peak combustion pressure* menjadi lebih tinggi. Bahan bakar emulsi juga menyebabkan ignition timing menjadi lebih lambat. Heat release pada bahan emulsi lebih rendah pada putaran awal, akan tetapi pada RPM maksimal heat release bahan bakar emulsi 10% & 15% mengalami peningkatan, akan tetapi meskipun heat release tinggi, daya yang dihasilkan lebih kecil dikarenakan efisiensi thermal bahan bakar emulsi cukup rendah.
- c. Pada hasil pengujian emisi *NOx*, penggunaan penggunaan air pada bahan bakar emulsi 10% dan 15% mampu menurunkan emisi *NOx* tetapi tidak signifikan.

5.2 Saran

Dengan dilakukannya penelitian mengenai pengaruh penggunaan air pada bahan bakar emulsi biodiesel minyak kelapa sawit pada motor diesel, penulis memiliki saran agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi. Saran tersebut diantaranya :

- a. Peneliti selanjutnya dapat meneliti bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit dengan variasi penambahan air yang lebih tinggi agar dapat mendapatkan emisi yang lebih rendah.
- b. Peneliti selanjutnya dapat meneliti sistem pereduksi emisi yang lebih efektif dalam menurunkan emisi yang dihasilkan oleh emisi dari bahan bakar emulsi seperti *amonia scrubber*, *air humidifier*, *PDF*, dll agar didapatkan kadar emisi yang lebih baik lagi.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Anief, Moh., (2005)., *"Ilmu Meracik Obat"*, cetakan XII, Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. Book hal 143, 147
- A. R. C. de L. M. Duarte, U. H. Bezerra, M. E. de L. Tostes and G. N. da R. Filho, "Alternatif Energy Sources in the Amazon: Evaluating the Energy Potential of Palm Oil for the Generation of Electricity in Isolated Communities", *IEEE Power and Energy Magazine*, January-February 2007, Vol. 5, No. 1, pp. 51-57
- Azhar Abdul Aziz; Mohd Farid Said and Mohamad Afiq Awang. *Performance of Palm Oil-Based Biodiesel Fuels in a Single Cylinder Direct Injection Engine*. *Automotive Development Centre, Faculty of Mechanical Engineering, University of Technology Malaysia, 81310 Universiti Teknologi Malaysia, Skudai, Johor, Malaysia
- Azhar Abdul Aziz, Mohd Farid Said, Mohamad Afiq Awang, Mazlan Said. *The Effects of Neutralized Palm Oil Methyl Esters (NPOME) on Performance and Emission of a Direct Injection Diesel Engine*. Automotive Development Centre (ADC) Faculty of Mechanical Engineering Universiti Teknologi Malaysia
- Ghojel, J., Honnery, D., Al-Khaleefi, K. *Performance, emissions and heat release characteristics of direct injection diesel engine operating on diesel oil emulsion*. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 26, 2006, pp. 2132-2141.
- Hendra Wijaksana and Gusti B. W. Kusuma. "An Experimental Study on Diesel Engine Performances Using Crude Palm Oil Biodiesel". *Mechanical Engineering Department, Udayana University, Kampus Bukit Jimbaran ,Denpasar ,Bali , Indonesia*
- Jawad Nagi, Syed Khaleel Ahmed, Farrukh Nagi. *Palm Biodiesel an Alternatif Green Renewable Energy for the Energy Demands of the Future*. ICCBT 2008 - F - (07) – pp79-94 Universiti Tenaga Nasional, MALAYSIA
- Jenkins, G.L., (1957), "Scoville's ; The Art Of Compounding', Ninth Edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, Book page 314, 315.
- Mohammed Yahaya Khan, Z. A. Abdul Karim, Ftwi Yohaness Hagos, A. Rashid A. Aziz, and Isa M. Tan " Current Trends in Water-in-Diesel Emulsion as a Fuel" Department of Mechanical Engineering, Universiti Teknologi Petronas, Seri Iskandar, 31750 Tronoh, Perak, Malaysia
- M.R. Noor El-Din, Sabrinal H. El-Hamouly, H.M. Mohamed, Marwa R. Mishrif, Ahmad M. Ragab "Water-in-diesel fuel nanoemulsions : Preparation, stability, and physical properties" *Egyptian Petroleum Research Institue* 2013

- Nathasya.2008. *Sintesis Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Kemiri (Aleurites moluccana) Hasil Eksteraksi Melalui Metode Ultrasonikimia*. UI, Depok
- Pahlevi, nauval, 2017. *Effect of Water in Fuel Emulsion on Performance and NOx of Diesel Engine*. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, Vol. 1(4), Sept. 2017. 221-232 (pISSN: 2541-5972, eISSN: 2548-1479)
- Prahara, Alriga, J., 2012. *Pengaruh penggunaan bahan bakar emulsi dari metanol dengan diesel oil terhadap performa, NOx dan combustion process pada diesel engine*. Tugas Akhir. ITS Surabaya
- Pranowo, Dibyo, Dkk. 2014. *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping*. IAARD Press. Jakarta
- Prasetyo, Yudi. 2015. "Analisa Properties Biodiesel dari Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dan Pengaruhnya Terhadap Uji Peformansi Motor Diesel". Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS-FTK. Surabaya.
- Scarpete, D., 2013. *Diesel-water emulsion, an alternatif fuel to reduce diesel engine emission.a review*. *Machines, technologies, materials*, ISSN 1313-0226.
- Selim, M.Y.E., Ghannam, M.T. *Combustion study of stabilized water-in-diesel fuel emulsion*. *Energy Sources, Part A: Recovery Utilization, and Environmental Effects*, Vol. 32: 3, 2010, pp. 256274
- Selim, M.Y.E., Elfeky, S.M.S. *Effects of diesel/water emulsion on heat flow and thermal loading in a precombustion chamber diesel engine*. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 21, 2001, pp. 1565-1582
- Zuhdi, Aguk M.F., Tris Buwono, dll. 2003. "Biodiesel sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel". Laporan Riset – Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Energi. Surabaya

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Rumus Peforma

Rumus Perhitungan Performansi

- Daya Motor

Daya motor adalah parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya itu adalah besarnya kerja motor dalam kurun waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P	: daya (kW)
V	: tegangan listrik (Volt)
I	: arus listrik (Ampere)
Cos ϕ	: 0.9
Eff Gen	: efisiensi generator (0.85)
Eff Slip	: efisiensi slip (hitung)

- Specific Fuel Oil Consumption (SFOC)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau Specific Fuel Oil Consumption (SFOC) adalah parameter unjuk kerja motor yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah motor, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
ρ	: massa jenis bahan bakar (gr/m ³)
v	: volume bahan bakar (m ³)
t	: waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC	: konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
FCR	: laju aliran bahan bakar (gr/h)
P	: daya (kW)

- Torsi

Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)
 P : daya (kW)
 Rpm : putaran motor diesel (rpm)

- BMEP

Tekanan efektif rata-rata didefinisikan sebagai tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per-siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)
 P : daya (kW)
 Z : konstanta 2 untuk 4-stroke
 V : volume langkah (m³)
 I : jumlah silinder

Lampiran 2 : Hasil Perhitungan Peforma

Tabel Perhitungan Bahan bakar Dexlite

Putaran Engine (rpm) kontrol	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)
			Tegangan (volt)	Arus (ampere)													
1800	1799	1000	178	3,4	0,00002	141	2,350	0,0392	850000	1,118	0,573	434,0	757,2	3,044	120963,97	42519745	11,1817
1800	1798	2000	191	8,5	0,00002	112	1,867	0,0311	850000	1,117	1,539	546,4	355,1	8,177	324745,47	42519745	23,8448
1800	1802	3000	193	11,8	0,00002	85	1,417	0,0236	850000	1,108	2,177	720,0	330,7	11,543	459428,27	42519745	25,6017
1800	1805	4000	193	14,7	0,00002	64	1,067	0,0178	850000	1,106	2,716	956,3	352,0	14,378	573227,33	42519745	24,0513
1900	1900	1000	190	3,88	0,00002	132	2,200	0,0367	850000	1,113	0,701	463,6	660,9	3,527	140238,53	42519745	12,8102
1900	1899	2000	204	8,2	0,00002	107	1,783	0,0297	850000	1,116	1,587	572,0	360,4	7,985	317291,19	42519745	23,4939
1900	1903	3000	206	12,32	0,00002	77	1,283	0,0214	850000	1,107	2,427	794,8	327,4	12,187	485274,99	42519745	25,8578
1900	1899	4000	207	15,3	0,00002	57	0,950	0,0158	850000	1,109	3,023	1073,7	355,2	15,207	604248,40	42519745	23,8344
2000	2000	1000	207	4,17	0,00002	127	2,117	0,0353	850000	1,114	0,821	481,9	587,1	3,921	155887,22	42519745	14,4213
2000	2002	2000	215	8,5	0,00002	99	1,650	0,0275	850000	1,111	1,741	618,2	355,0	8,310	330724,68	42519745	23,8502
2000	1999	3000	220	12,77	0,00002	71	1,183	0,0197	850000	1,107	2,686	862,0	320,9	12,839	510194,17	42519745	26,3886
2000	2000	4000	219	16	0,00002	53	0,883	0,0147	850000	1,107	3,353	1154,7	344,4	16,017	636779,66	42519745	24,5841
2100	2102	1000	223	4,24	0,00002	121	2,017	0,0336	850000	1,115	0,898	505,8	563,3	4,081	162415,02	42519745	15,0311
2100	2101	2000	229	8,68	0,00002	90	1,500	0,0250	850000	1,111	1,895	680,0	358,8	8,618	342794,68	42519745	23,5989
2100	2099	3000	234	13,25	0,00002	68	1,133	0,0189	850000	1,111	2,954	900,0	304,6	13,447	534346,41	42519745	27,7914
2100	2102	4000	230	17,1	0,00002	49	0,817	0,0136	850000	1,108	3,760	1249,0	332,2	17,090	680073,03	42519745	25,4877
2200	2199	1000	240	4,3	0,00002	113	1,883	0,0314	850000	1,114	0,981	541,6	552,2	4,261	169334,18	42519745	15,3322
2200	2202	2000	246	9	0,00002	81	1,350	0,0225	850000	1,112	2,108	755,6	358,4	9,147	363969,35	42519745	23,6228
2200	2201	3000	247	13,68	0,00002	63	1,050	0,0175	850000	1,107	3,232	971,4	300,6	14,028	557949,57	42519745	28,1685
2200	2200	4000	249	17,14	0,00002	45	0,750	0,0125	850000	1,111	4,069	1360,0	334,2	17,670	702500,12	42519745	25,3304

Tabel Perhitungan Bahan bakar B20

Putaran Engine (rpm)	Beban (watt)	Putaran Alumnator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)
			Tegangan (volt)	Arus (ampere)													
1800	1805	1000	178	3.3	0.0002	136	2.267	0.0378	830000	1.124	0.553	439.4	794.0	2.929	116778.37	42537888	10.6583
1800	1802	2000	187	7.4	0.0002	104	1.733	0.0289	830000	1.120	1.308	574.6	439.4	6.933	275950.33	42537888	19.2598
1800	1801	3000	188	11.9	0.0002	77	1.283	0.0214	830000	1.117	2.121	776.1	366.0	11.250	447502.66	42537888	23.1246
1800	1802	4000	189	14.3	0.0002	59	0.983	0.0164	830000	1.117	2.562	1012.9	395.4	13.583	540615.70	42537888	21.4056
1900	1903	1000	194	3.6	0.0002	123	2.050	0.0342	830000	1.125	0.657	485.9	739.1	3.300	131416.58	42537888	11.4505
1900	1898	2000	202	7.7	0.0002	102	1.700	0.0283	830000	1.119	1.471	585.9	398.2	7.407	294185.52	42537888	21.2550
1900	1902	3000	204	11.8	0.0002	72	1.200	0.0200	830000	1.118	2.281	830.0	363.9	11.456	455925.15	42537888	23.2539
1900	1897	4000	200	15.1	0.0002	54	0.900	0.0150	830000	1.116	2.865	1106.7	386.2	14.431	572823.65	42537888	21.9121
2000	2003	1000	209	3.84	0.0002	119	1.983	0.0331	830000	1.119	0.759	502.2	661.2	3.623	144237.12	42537888	12.7988
2000	2003	2000	215	8	0.0002	92	1.533	0.0256	830000	1.115	1.633	649.6	397.7	7.791	310191.74	42537888	21.2756
2000	1998	3000	217	12.2	0.0002	66	1.100	0.0183	830000	1.117	2.509	905.5	360.9	11.968	476452.25	42537888	23.4481
2000	1999	4000	213	15.9	0.0002	50	0.833	0.0139	830000	1.115	3.216	1195.2	371.6	15.370	610771.13	42537888	22.7716
2100	2100	1000	224	3.9	0.0002	113	1.883	0.0314	830000	1.122	0.825	528.8	641.2	3.752	149174.90	42537888	13.1980
2100	2102	2000	228	8.2	0.0002	83	1.383	0.0231	830000	1.117	1.772	720.0	406.3	8.054	320512.55	42537888	20.8285
2100	2105	3000	230	12.6	0.0002	61	1.017	0.0169	830000	1.113	2.756	979.7	355.5	12.508	498456.84	42537888	23.8063
2100	2105	4000	227	16.8	0.0002	43	0.717	0.0119	830000	1.109	3.641	1389.8	381.7	16.523	658551.88	42537888	22.1714
2200	2202	1000	240	4.1	0.0002	101.6	1.683	0.0282	830000	1.119	0.931	588.2	631.8	4.040	160748.68	42537888	13.3961
2200	2205	2000	242	8.6	0.0002	73.4	1.223	0.0204	830000	1.117	1.973	814.2	412.7	8.548	340631.49	42537888	20.5078
2200	2204	3000	243	13	0.0002	57	0.950	0.0158	830000	1.116	2.998	1048.4	349.7	12.998	517686.97	42537888	24.2036
2200	2202	4000	237	16.9	0.0002	41.8	0.697	0.0116	830000	1.106	3.833	1429.7	373.0	16.631	661793.65	42537888	22.6901

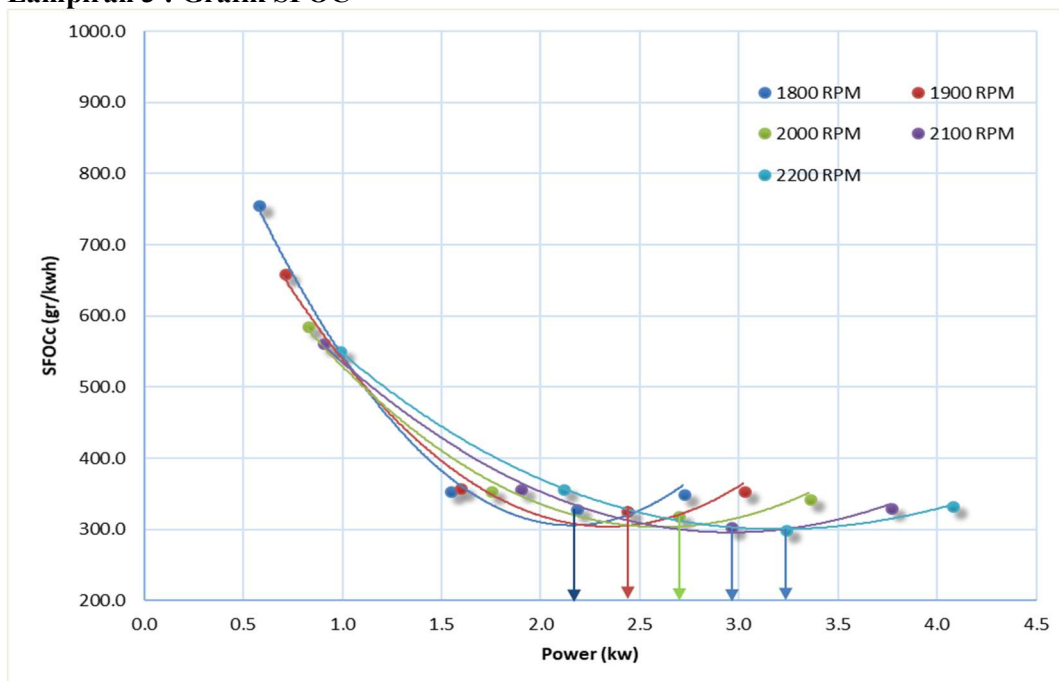
Tabel Perhitungan Emulsi 10%

Putaran Engine (rpm)	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)
			Tegangan (volt)	Arus (ampere)													
1800	1803	1307	175	3.3	0.00002	124	2.067	0.0344	855000	1.122	0.545	496.5	911.0887	2.887	114985.88	42537888	9.2889
1800	1805	1302	189	7.2	0.00002	98	1.633	0.0272	855000	1.118	1.289	628.2	487.3594	6.822	271989.05	42537888	17.3651
1800	1800	1301	190	11	0.00002	77	1.283	0.0214	855000	1.117	1.981	799.5	403.5516	10.515	418058.54	42537888	20.9714
1800	1798	1301	193	13.6	0.00002	59	0.983	0.0164	855000	1.117	2.488	1043.4	419.3608	13.221	525033.51	42537888	20.1808
1900	1896	1381	188	3.5	0.00002	118	1.967	0.0328	855000	1.123	0.620	521.7	841.1306	3.125	123993.90	42537888	10.0615
1900	1899	1376	201	7.3	0.00002	92	1.533	0.0256	855000	1.119	1.388	669.1	482.0470	6.984	277503.58	42537888	17.5665
1900	1901	1372	203	11.4	0.00002	71	1.183	0.0197	855000	1.116	2.196	867.0	394.8867	11.035	438949.83	42537888	21.4316
1900	1904	1371	205	14.2	0.00002	54	0.900	0.0150	855000	1.115	2.764	1140.0	412.4574	13.869	552551.62	42537888	20.5186
2000	2001	1443	205	3.7	0.00002	108	1.800	0.0300	855000	1.115	0.720	570.0	791.3868	3.439	136790.95	42537888	10.6940
2000	2006	1440	212	7.8	0.00002	87	1.450	0.0242	855000	1.113	1.573	707.6	449.6908	7.494	298838.18	42537888	18.8197
2000	2001	1446	217	11.9	0.00002	66	1.100	0.0183	855000	1.117	2.447	932.7	381.1702	11.684	464736.21	42537888	22.2028
2000	2000	1441	219	15.1	0.00002	48	0.800	0.0133	855000	1.114	3.145	1282.5	407.8523	15.022	597207.41	42537888	20.7503
2100	2099	1522	220	3.9	0.00002	99	1.650	0.0275	855000	1.120	0.811	621.8	766.6624	3.682	146703.59	42537888	11.0388
2100	2104	1519	226	8	0.00002	81	1.350	0.0225	855000	1.118	1.712	760.0	443.7990	7.776	309748.18	42537888	19.0695
2100	2101	1508	228	12.1	0.00002	62	1.033	0.0172	855000	1.110	2.632	992.9	377.2258	11.969	476087.72	42537888	22.4350
2100	2105	1507	232	15.9	0.00002	45	0.750	0.0125	855000	1.109	3.522	1368.0	388.4433	15.984	637000.78	42537888	21.7871
2200	2099	1590	238	4	0.00002	96	1.600	0.0267	855000	1.117	0.902	641.3	710.5547	4.108	155814.52	42537888	11.9105
2200	2104	1587	242	8.15	0.00002	78	1.300	0.0217	855000	1.115	1.873	789.2	421.3257	8.506	323417.98	42537888	20.0867
2200	2101	1584	244	12.3	0.00002	59	0.983	0.0164	855000	1.113	2.856	1043.4	365.3565	12.987	493069.19	42537888	23.1638
2200	2105	1575	245	16	0.00002	42	0.700	0.0117	855000	1.106	3.751	1465.7	390.7093	17.027	647699.58	42537888	21.6607

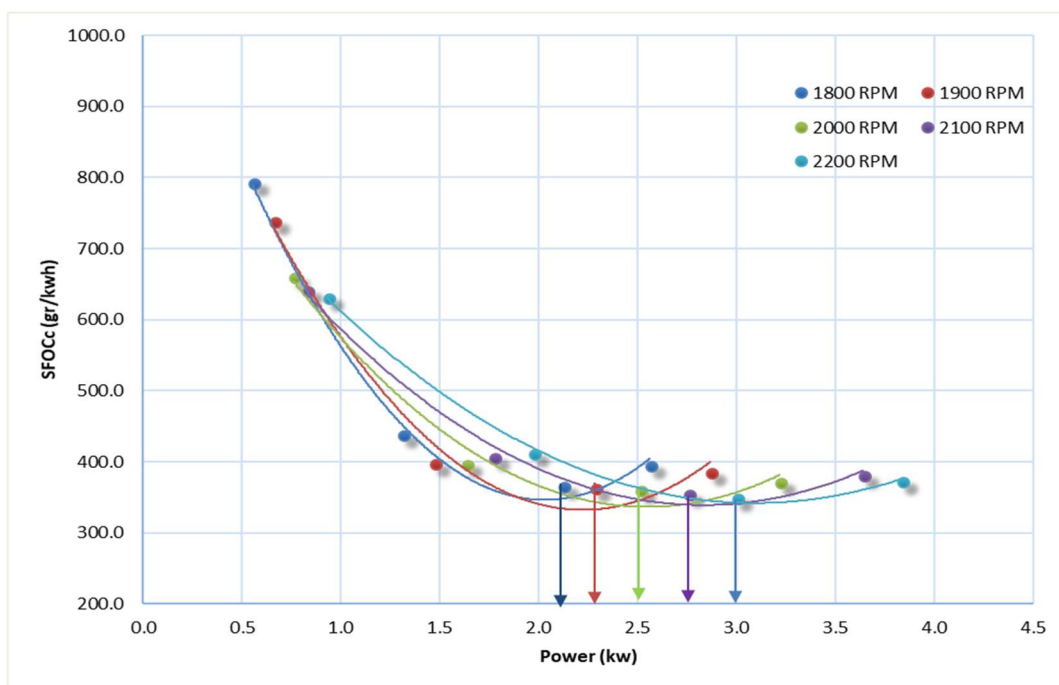
Tabel Perhitungan Emulsi 15%

Putaran Engine (rpm)	Beban (watt)	Putaran Aluminator (rpm)	Alternator		Volume Bahan Bakar (m3)	Waktu (detik)	Waktu (menit)	Waktu (jam)	Densitas (gr/m3)	Efisiensi Slip	Daya (kw)	FCR (mf) (gr/h)	SFOC (gr/kwh)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	LHV (J/Kg)	Eff. Thermal (%)
			Tegangan (volt)	Arus (ampere)													
1800	1803	1000	175	3	0.00002	130	2.167	0.0381	890000	1.117	0.498	492.9	990.5	2.637	105014.70	42537888	8.5442
1800	1802	2000	189	6.5	0.00002	104	1.733	0.0289	890000	1.120	1.162	616.2	530.3	6.160	245169.07	42537888	15.9579
1800	1801	3000	190	10.4	0.00002	77	1.283	0.0214	890000	1.119	1.870	832.2	445.0	9.921	394648.66	42537888	19.0185
1800	1798	4000	191	13	0.00002	60	1.000	0.0167	890000	1.117	2.354	1068.0	453.8	12.507	496669.54	42537888	18.6507
1900	1899	1000	194	3.1	0.00002	125	2.083	0.0347	890000	1.123	0.567	512.6	904.3	2.852	113328.16	42537888	9.3585
1900	1900	2000	200	7	0.00002	99	1.650	0.0275	890000	1.122	1.322	647.3	489.8	6.645	264199.43	42537888	17.2792
1900	1901	3000	203	10.8	0.00002	73	1.217	0.0203	890000	1.122	2.068	877.8	424.5	10.394	413436.50	42537888	19.9383
1900	1903	4000	204	13.8	0.00002	54	0.900	0.0150	890000	1.119	2.663	1186.7	445.6	13.371	532425.60	42537888	18.9937
2000	2000	1000	204	3.4	0.00002	118	1.967	0.0328	890000	1.118	0.657	543.1	826.8	3.138	124740.84	42537888	10.2359
2000	2003	2000	206	7.4	0.00002	92	1.533	0.0256	890000	1.117	1.445	696.5	482.2	6.890	274346.06	42537888	17.5517
2000	1999	3000	213	11.2	0.00002	69	1.150	0.0192	890000	1.114	2.267	928.7	409.7	10.834	430527.08	42537888	20.6577
2000	2003	4000	216	14.9	0.00002	49	0.817	0.0136	890000	1.114	3.060	1307.8	427.3	14.598	581224.81	42537888	19.8049
2100	2000	1000	220	3.7	0.00002	107	1.783	0.0297	890000	1.122	0.768	598.9	779.8	3.669	138906.53	42537888	10.8525
2100	2003	2000	222	7.7	0.00002	81	1.350	0.0225	890000	1.119	1.618	791.1	488.9	7.718	292663.27	42537888	17.3092
2100	1999	3000	226	11.6	0.00002	62	1.033	0.0172	890000	1.114	2.491	1033.5	414.9	11.907	450618.13	42537888	20.3997
2100	2097	4000	230	15.4	0.00002	44	0.733	0.0122	890000	1.111	3.377	1456.4	431.2	15.386	610839.94	42537888	19.6247
2200	2196	1000	234	3.9	0.00002	101	1.683	0.0281	890000	1.114	0.867	634.5	731.5	3.773	149742.61	42537888	11.5689
2200	2202	2000	238	7.9	0.00002	76	1.267	0.0211	890000	1.113	1.789	843.2	471.3	7.763	308899.34	42537888	17.9579
2200	2180	3000	239	11.8	0.00002	58	0.967	0.0161	890000	1.109	2.692	1104.8	410.4	11.798	464799.75	42537888	20.6215
2200	2160	4000	241	15.8	0.00002	40	0.667	0.0111	890000	1.104	3.651	1602.0	438.8	16.149	630361.52	42537888	19.2875

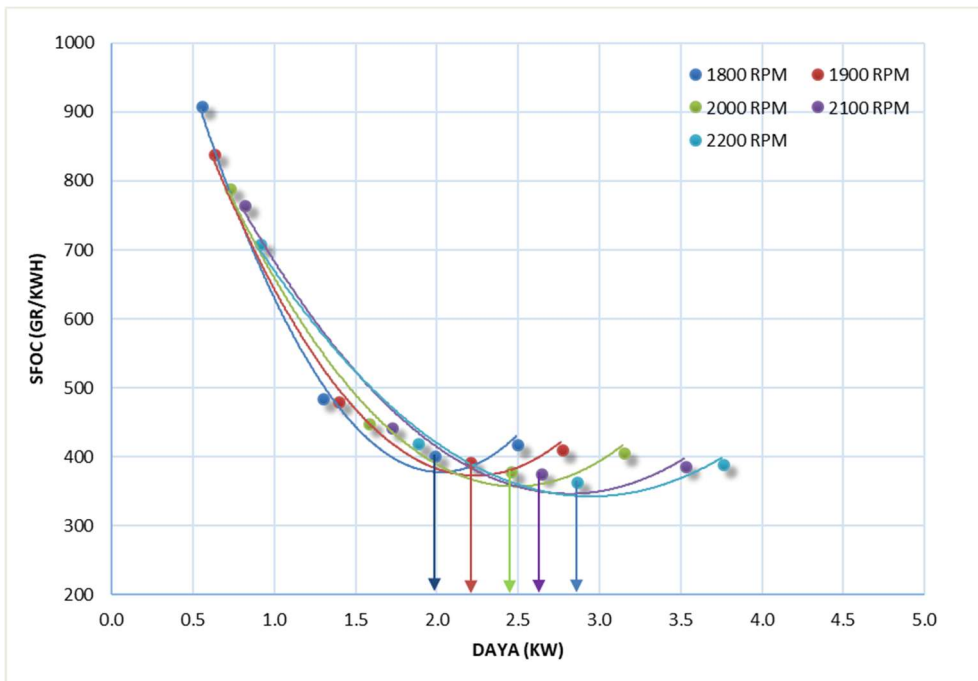
Lampiran 3 : Grafik SFOC



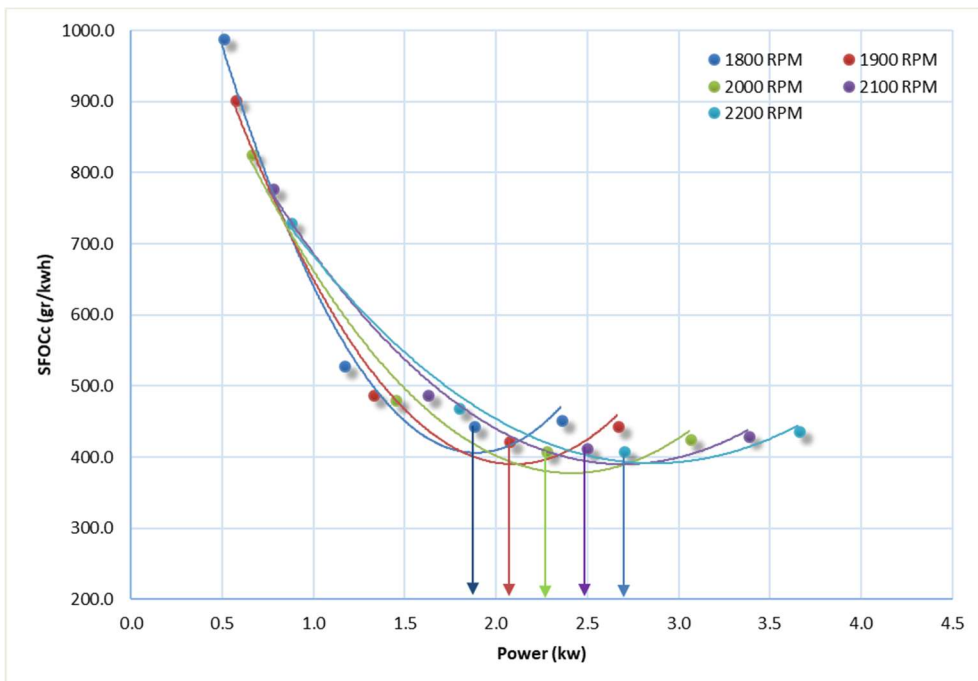
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite



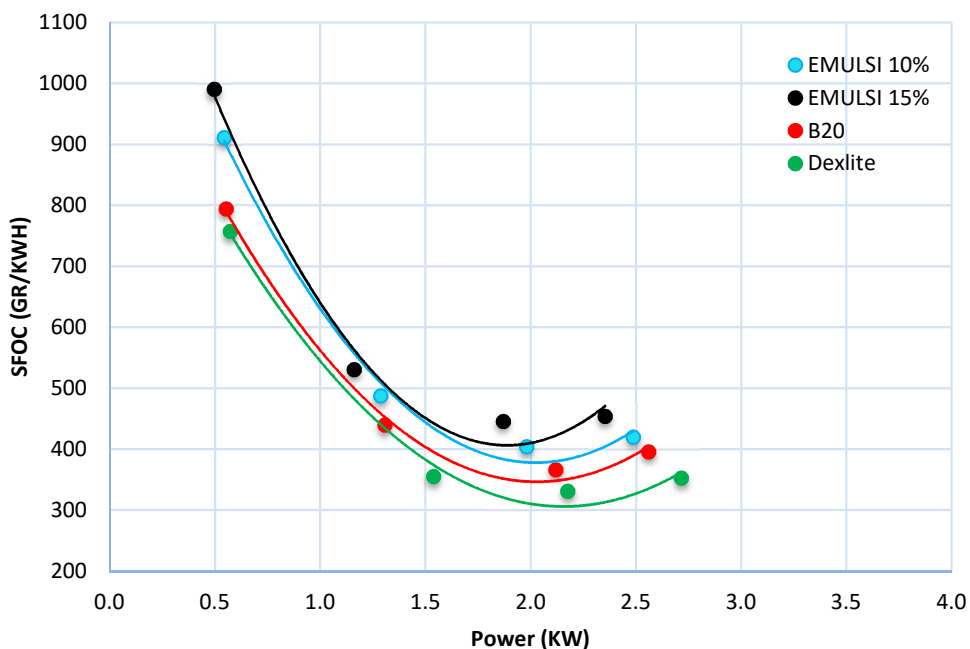
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar B20



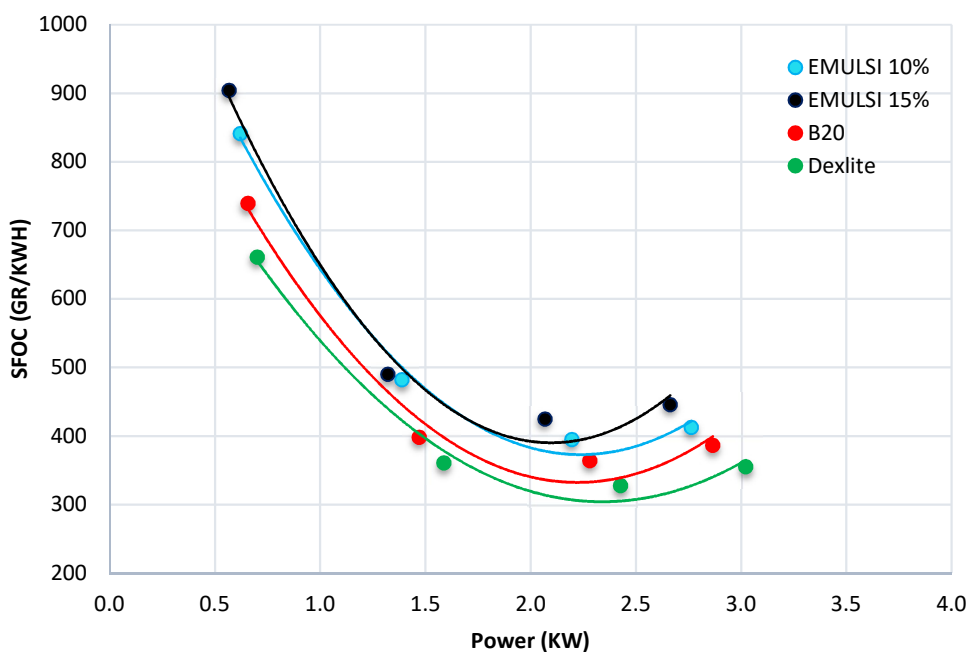
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Emulsi 10%



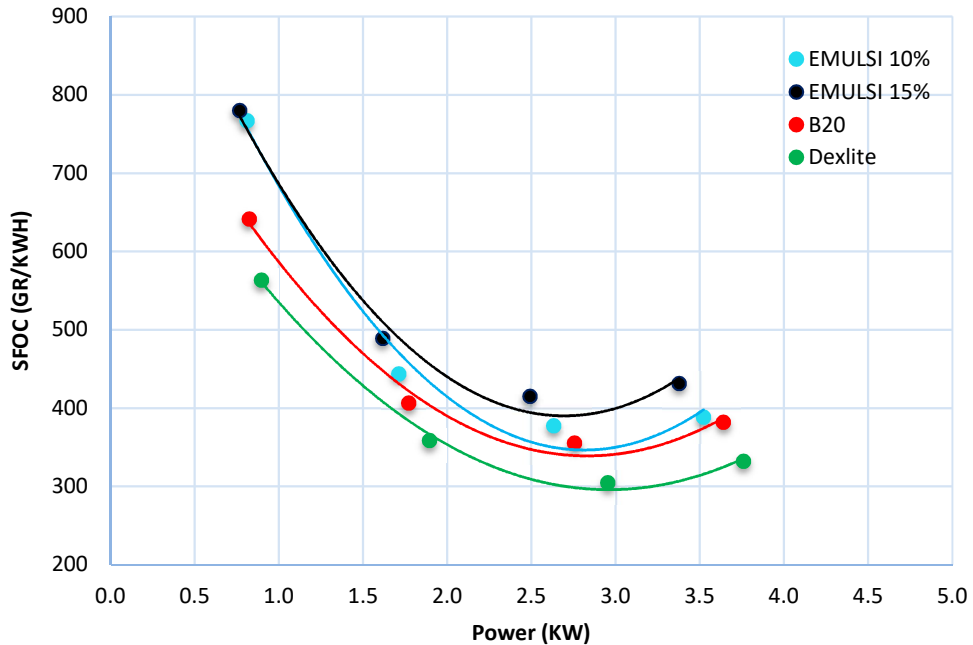
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Emulsi Air 15%



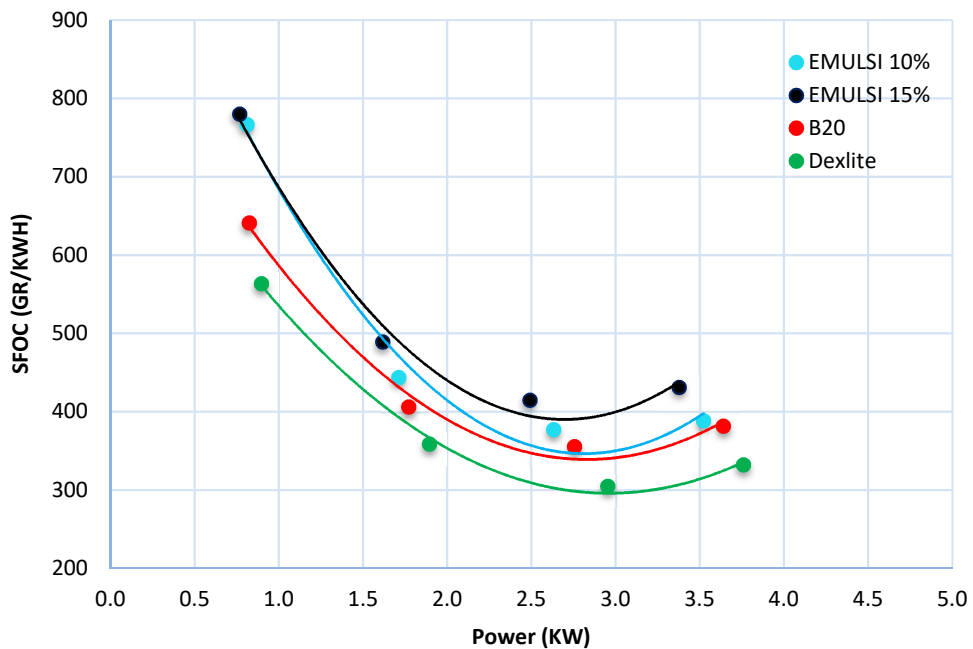
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1800



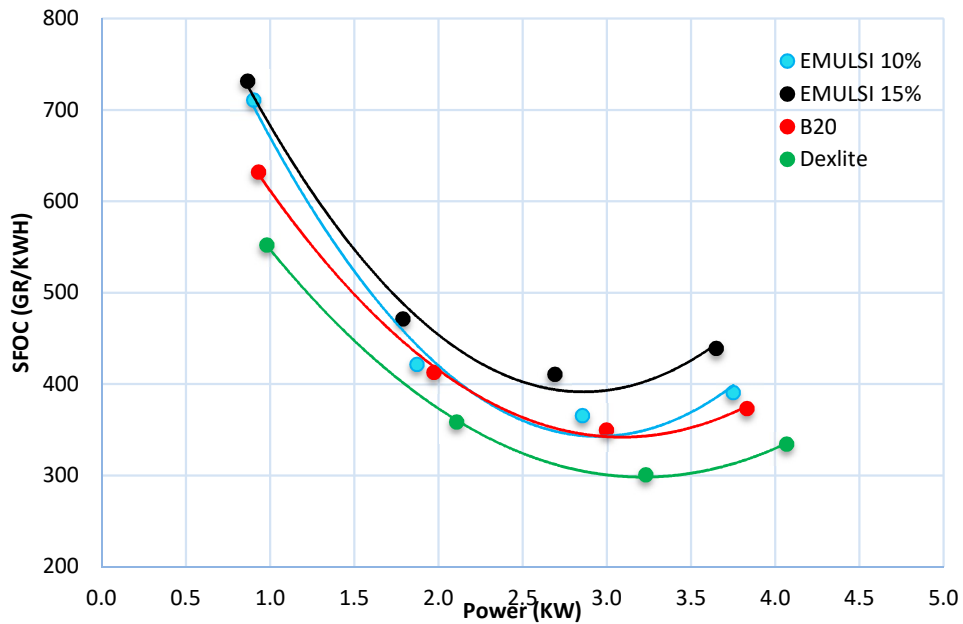
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 1900



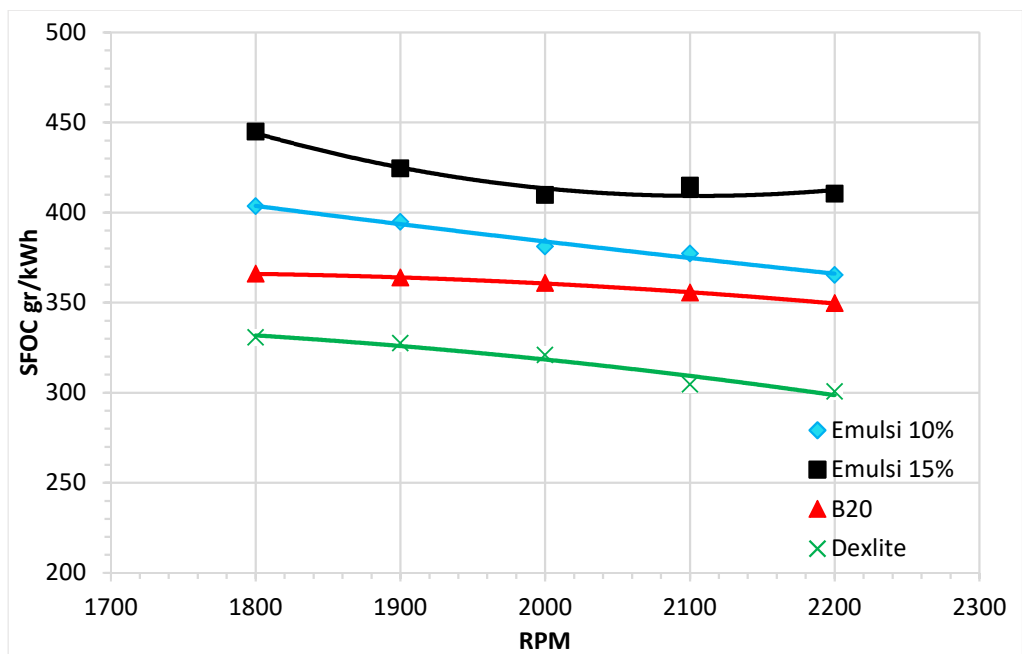
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2000



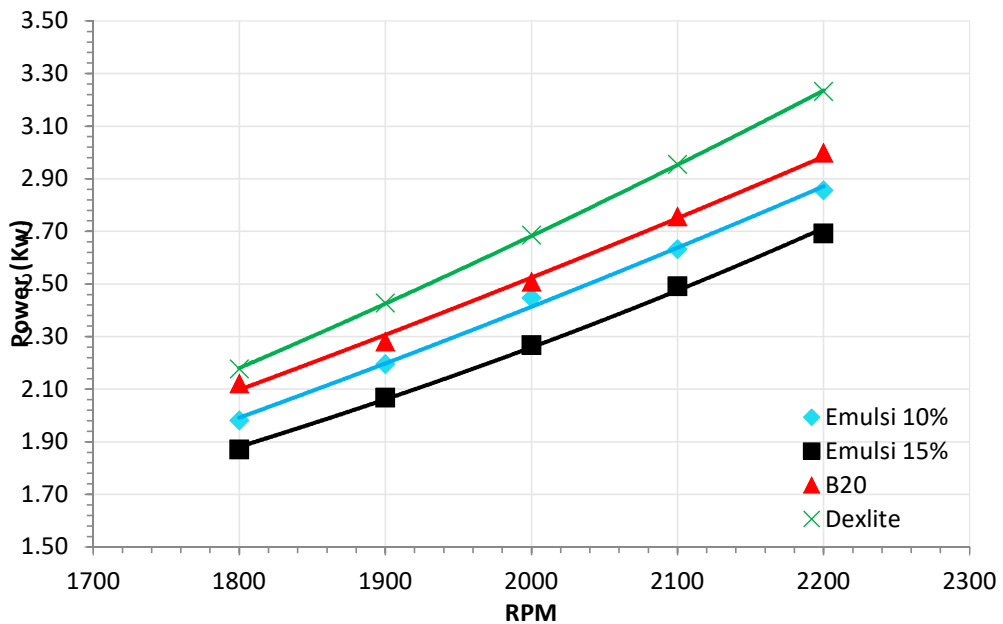
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2100



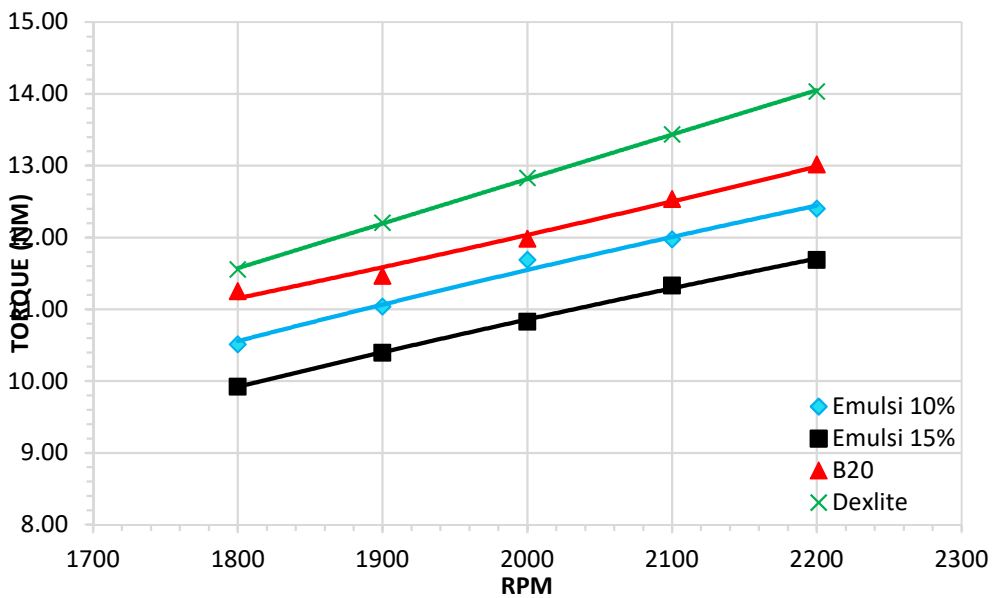
Grafik Performansi *SFOC* dengan *Power* Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15% pada RPM 2200



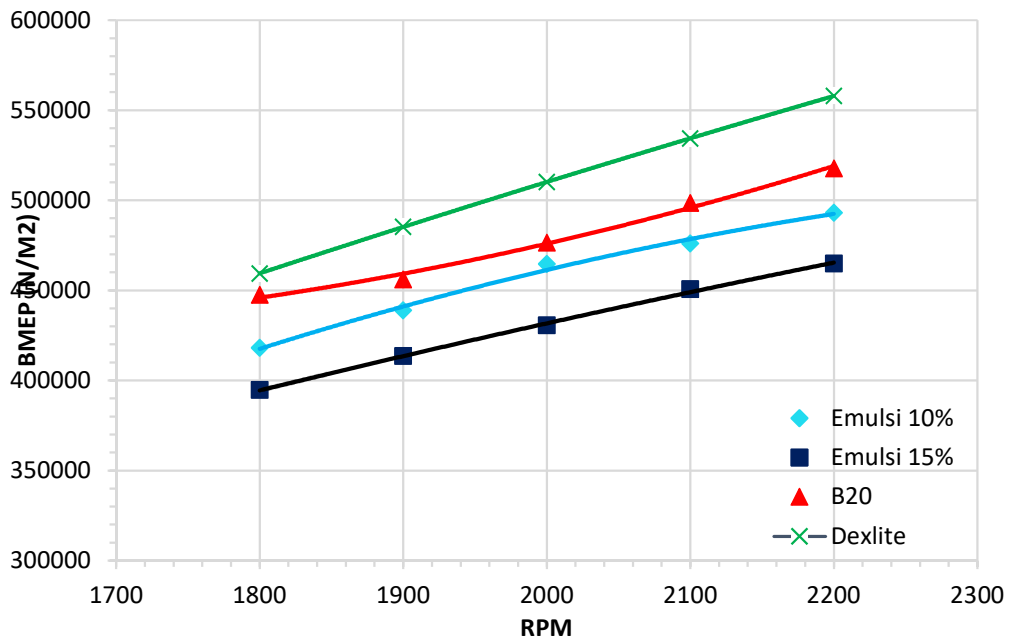
Grafik Performansi *SFOC* vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%



Grafik Performansi Daya vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

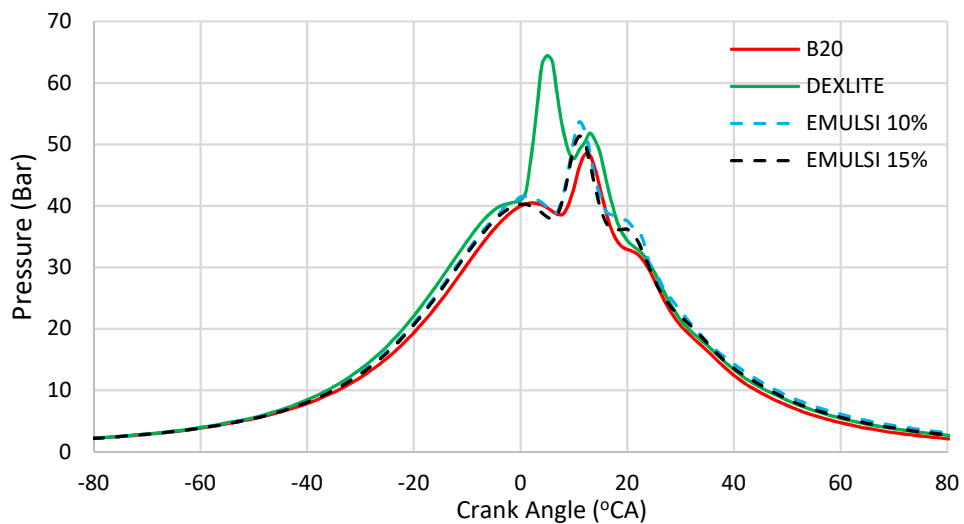


Grafik Performansi Torsi vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

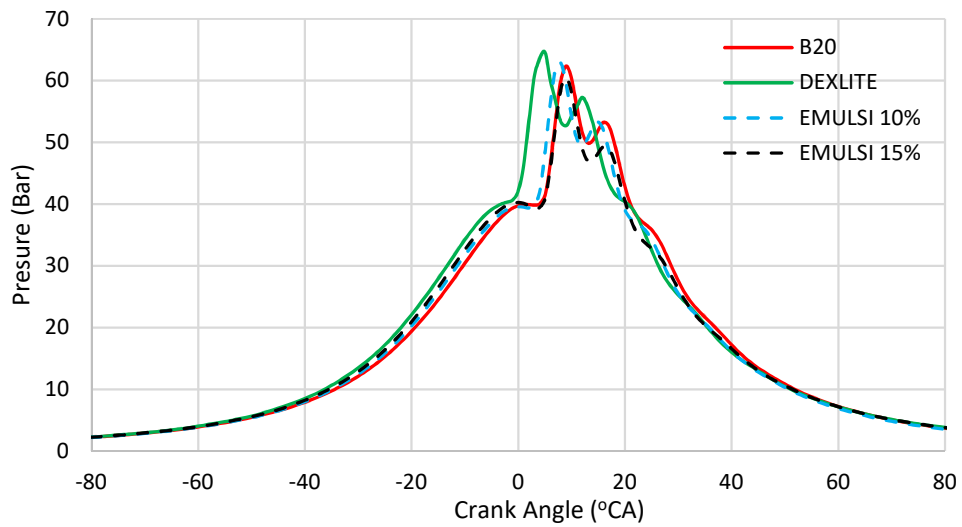


Grafik Performansi BMEP vs RPM pada Bahan Bakar Dexlite, B20, Emulsi Air 10%, dan Emulsi 15%

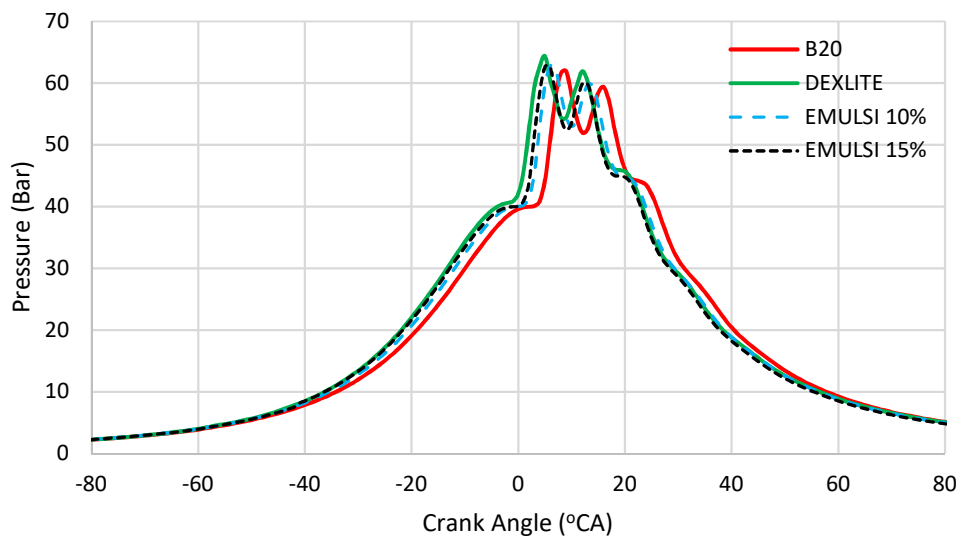
Lampiran 4 : Grafik Pembakaran



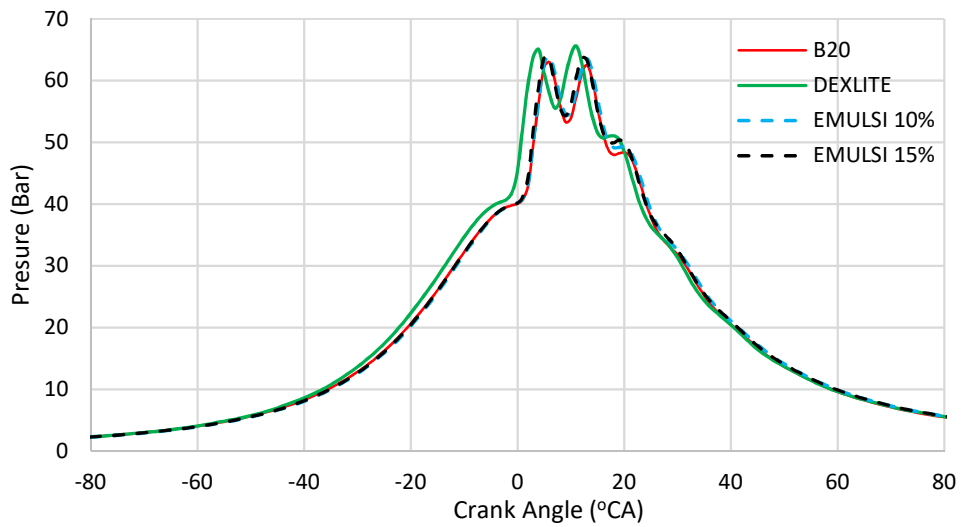
Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan beban 25%



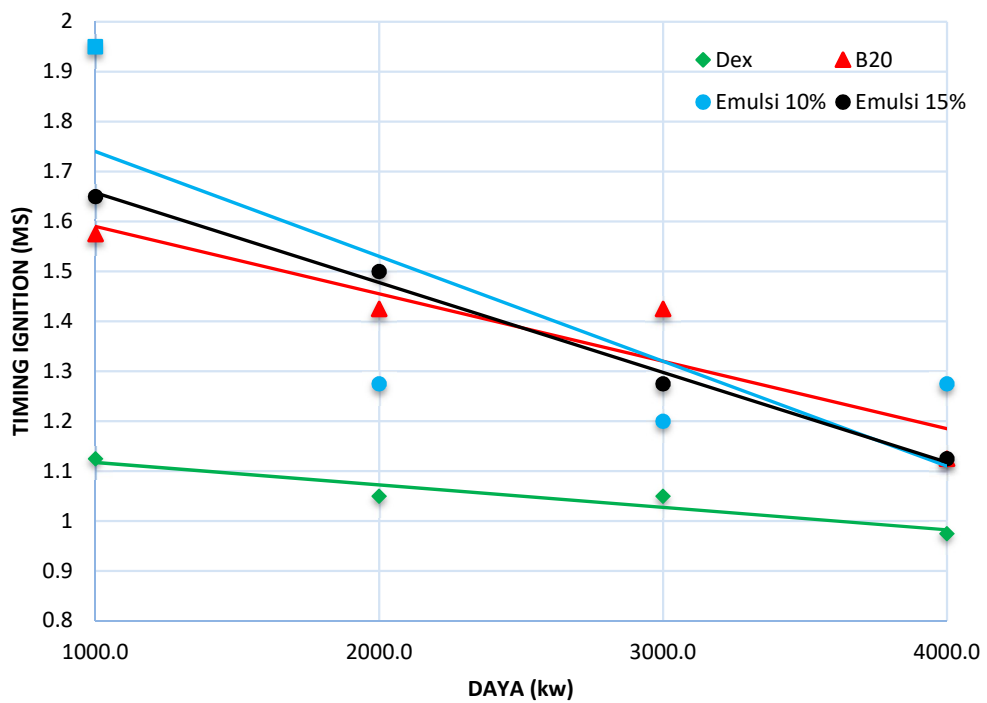
Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan 50%



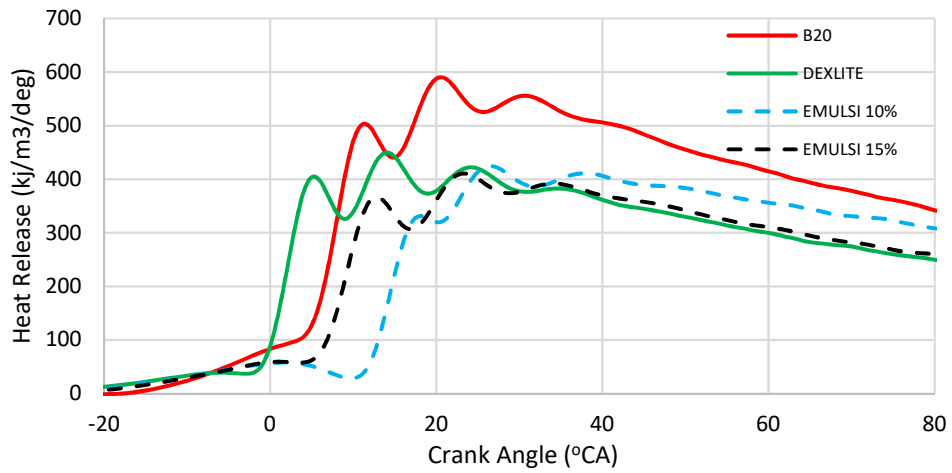
Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan beban 75%



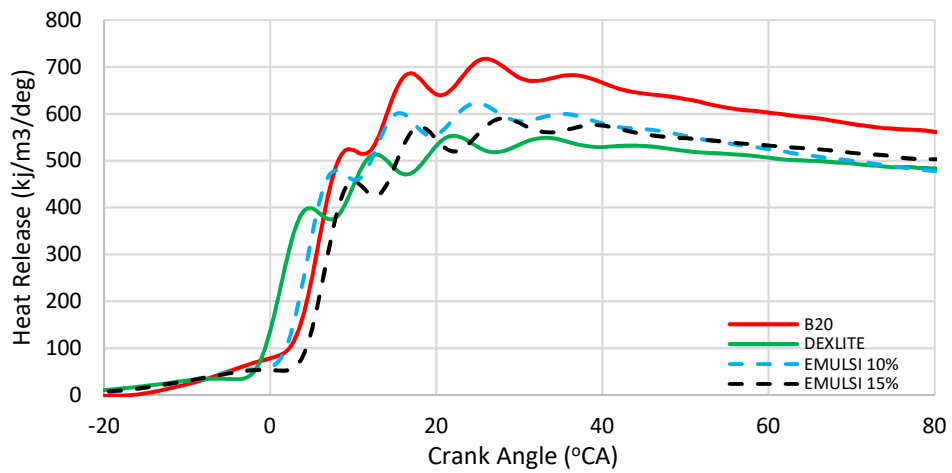
Grafik *combustion pressure* pada 100% RPM dan Beban 100%



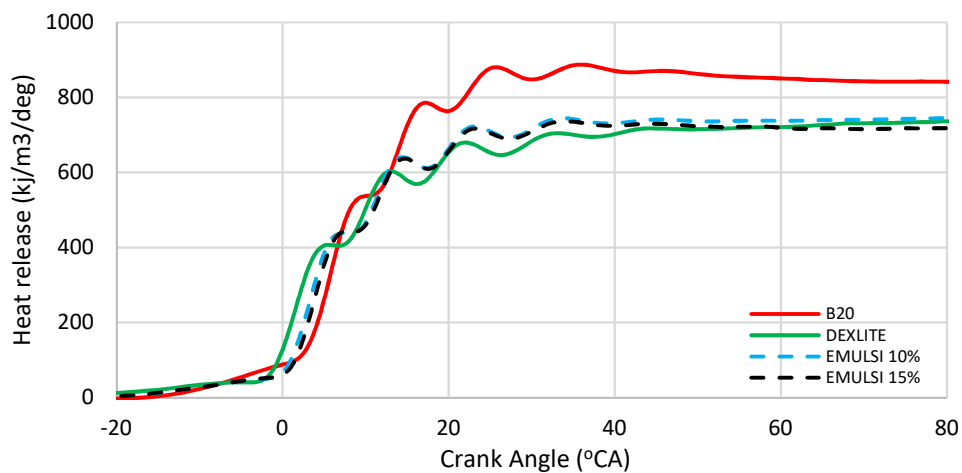
Grafik *Ignition Delay* pada 100% RPM



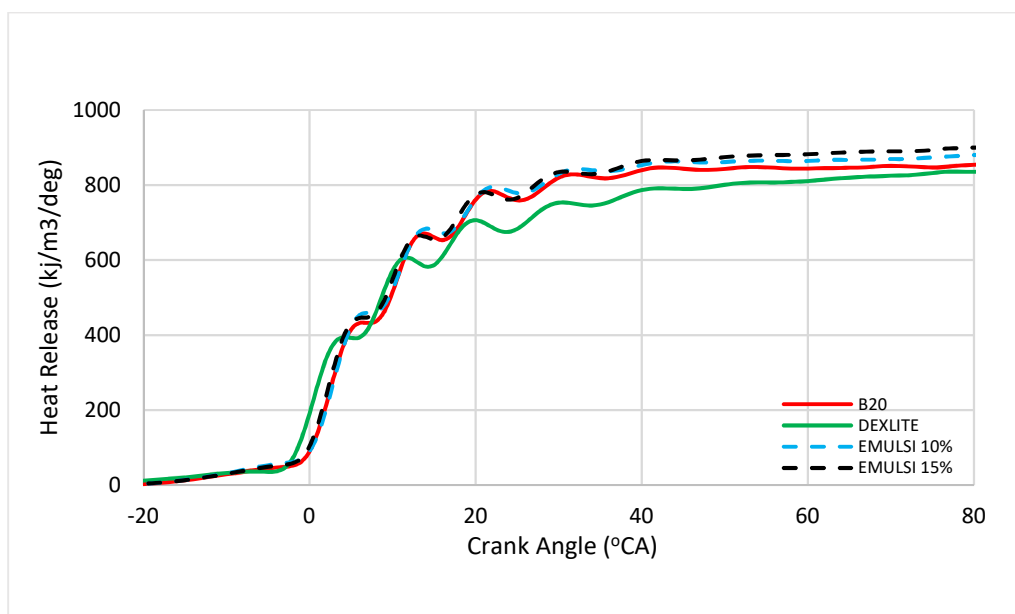
Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan beban 25%



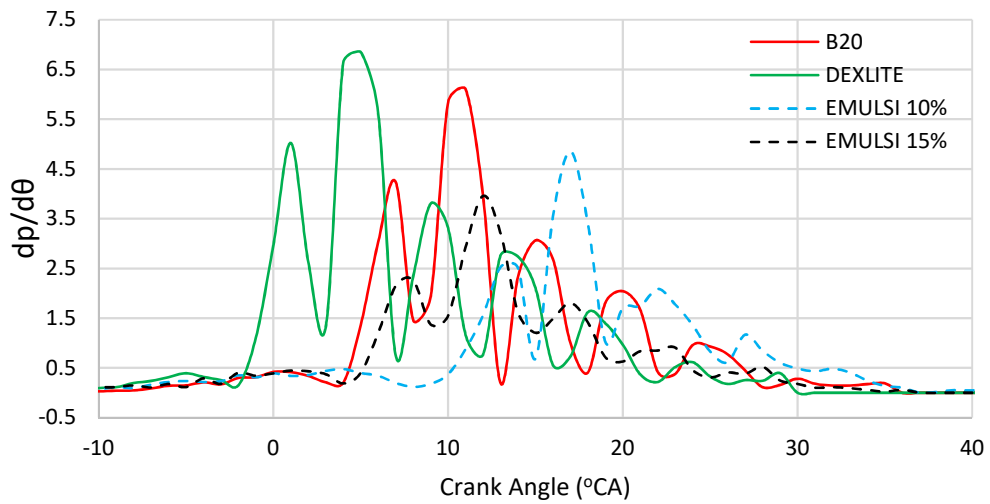
Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 50%



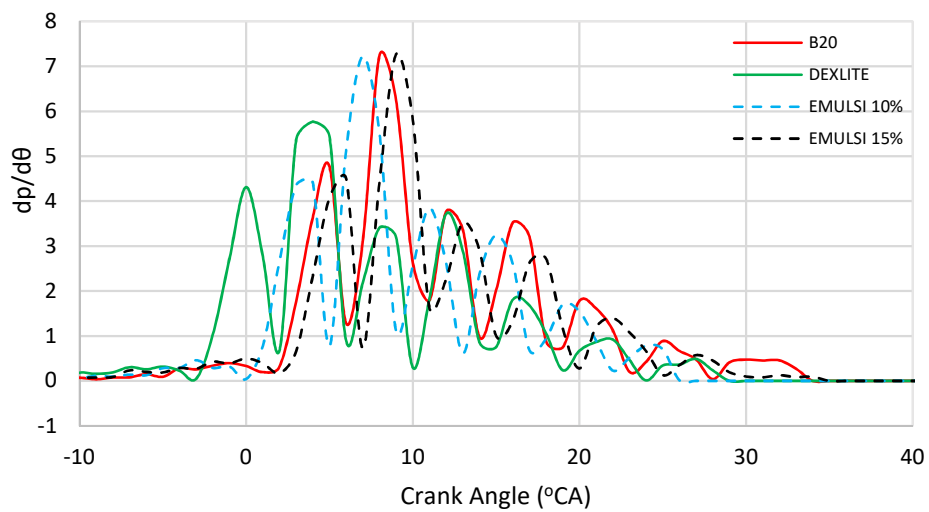
Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 75%



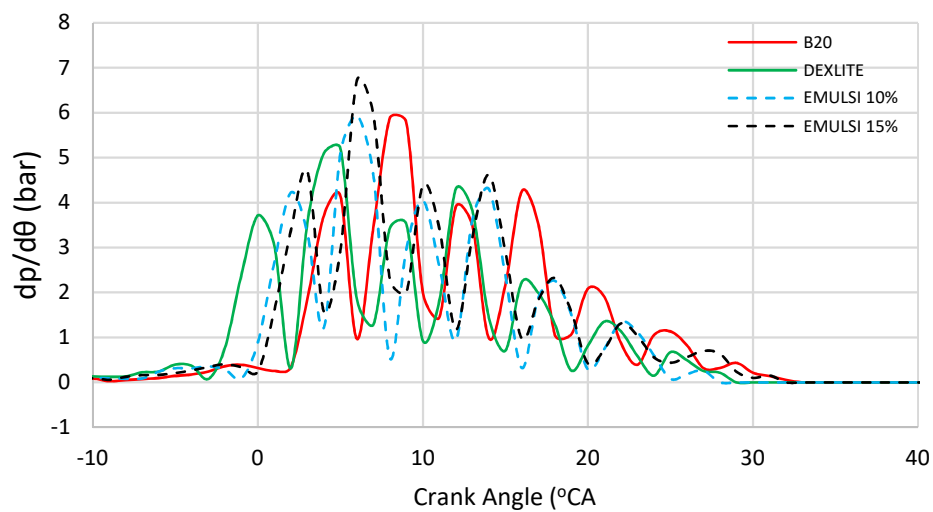
Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan Beban 100%



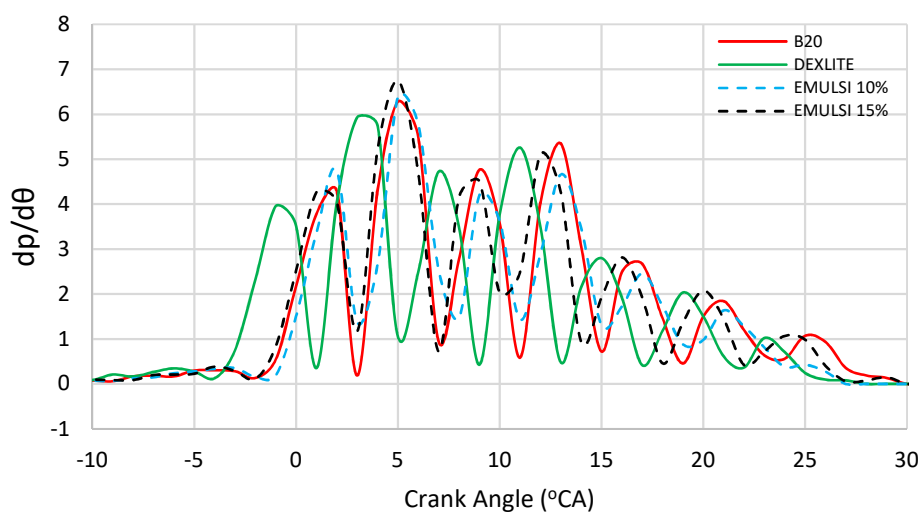
Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 25%



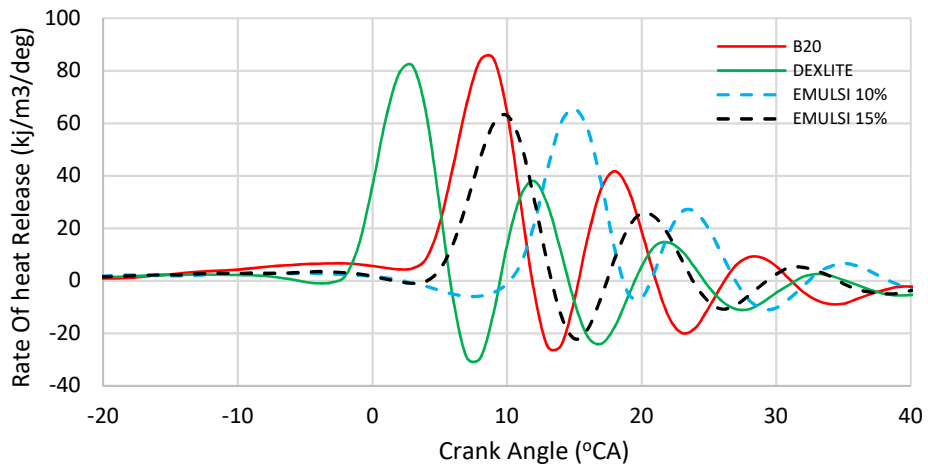
Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 50%



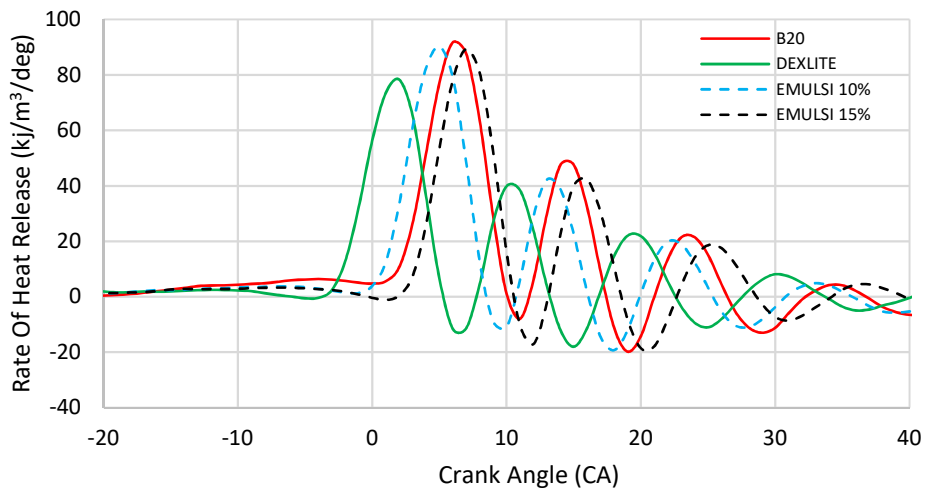
Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 75%



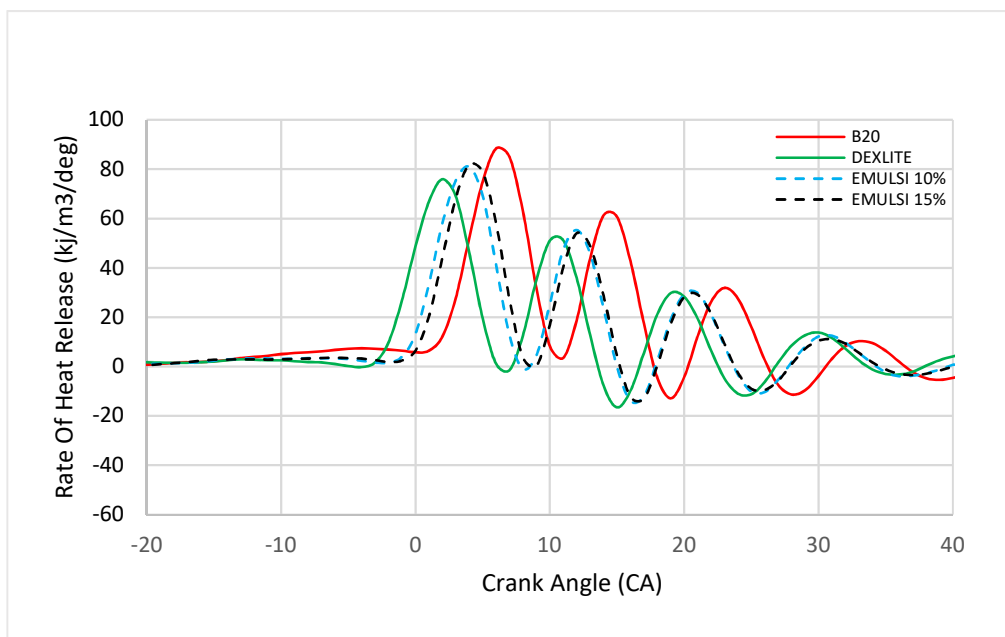
Grafik *Knock Detection* pada 100% RPM dan Beban 100%



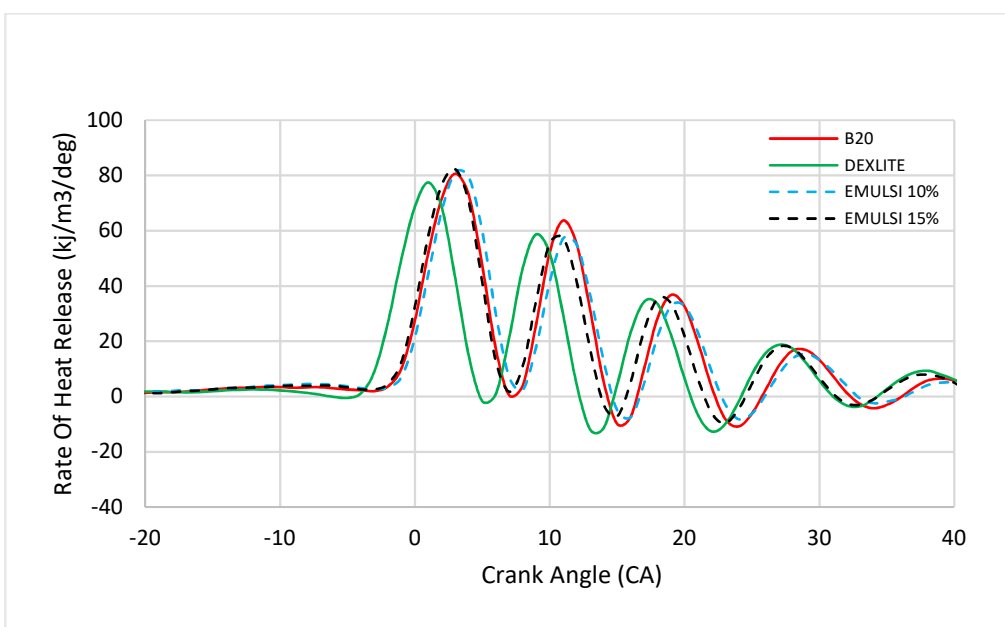
Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM Beban 25%



Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan Beban 50%



Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan beban 75%



Grafik *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan beban 100%

Lampiran 5 : Grafik Emisi

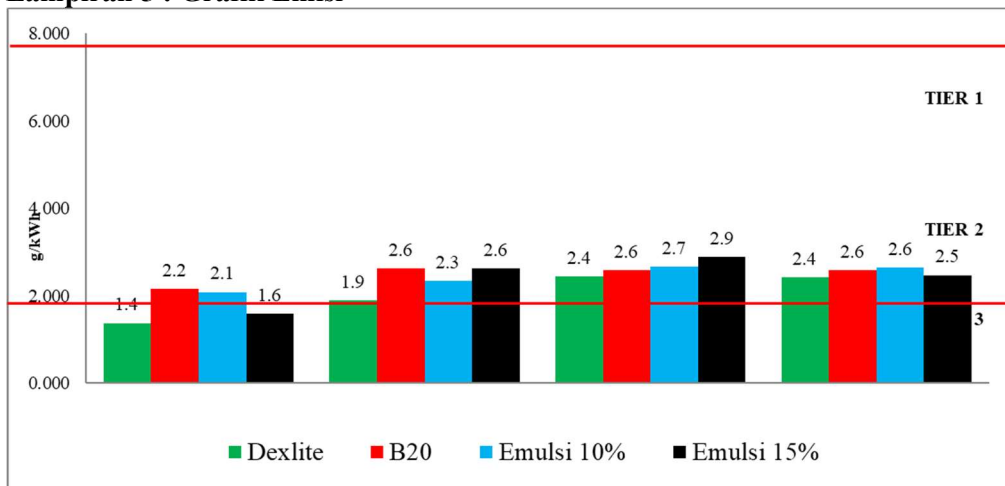


Diagram batang kadar NOx pada kondisi 100%RPM dan beban bervariasi

Lampiran 6 : Tabel Konversi Emisi

Bahan Bakar	load	Nox		
		ppm	mg/kWh	g/kWh
Dexlite	25%	207	1373.65	1.374
	50%	285	1891.26	1.891
	75%	367	2435.41	2.435
	100%	364	2415.50	2.416
B20	25%	325	2156.70	2.157
	50%	395	2621.22	2.621
	75%	388	2574.77	2.575
	100%	388	2574.77	2.575
Emulsi 10%	25%	314	2083.70	2.084
	50%	351	2329.24	2.329
	75%	401	2661.04	2.661
	100%	398	2641.13	2.641
Emulsi 15%	25%	238	1579.37	1.579
	50%	394	2614.58	2.615
	75%	435	2886.66	2.887
	100%	372	2468.59	2.469



**PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT-K3)**



Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
Email : upk3sby@gmail.com, admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id
Website : www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id

LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No. PT. 36-s / VII / 2018

- | | | |
|-----|---------------------|---|
| I | Nama Pengguna Jasa | : Mahasiswa ITS - Teknik Sistem Perkapalan
(Reggi Irdian Kusprianto) |
| II | Alamat | : Sukolilo – Surabaya |
| III | Jenis Pengukuran | : Kualitas Udara Emisi Gas Buang |
| IV | Tanggal Pengukuran | : 2 Juli 2018 |
| V | Alat yang Digunakan | : Gas Analyzer Merk StarGas 898 dan ECOM |
| VI | Hasil Pengukuran | : |

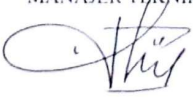
Bahan Bakar	RPM	Load (Watt)	Hasil Pengukuran					
			NO _x (ppm)	SO ₂ (ppm)	CO (%)	CO ₂ (%)	HIC (ppm)	O ₂ (%)
Biosolar	2200	1000	325	0	0.026	1.97	41	17.2
		2000	395	0	0.027	3.44	44	15.71
		3000	388	0	0.058	3.78	31	15.10
		4000	388	0	0.270	4.81	24	13.33
Emulsi 10% Air	2200	1000	314	0	0.029	2.08	31	18.03
		2000	351	0	0.021	1.28	5	19.15
		3000	401	14	0.072	3.29	7	16.15
		4000	398	107	0.356	3.55	0	15.53
Emulsi 15% Air	2200	1000	238	9	0.033	1.37	12	19.16
		2000	394	0	0.036	1.91	9	18.35
		3000	435	12	0.061	2.76	7	16.94
		4000	372	68	0.446	5.90	2	12.17

Mengetahui,
KEPALA UPT K3 SURABAYA
KASUBAG LATA USAHA

NONO SUWARSONO, SIL, M.Si
NIP. 19630305 1985031 018

Surabaya, 9 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



S. L. A. M. E. I. S. K. M.

NIP. 19630111 198803 1 012

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Mojokerto, 16 September 1996, merupakan anak ke 3 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di beberapa sekolah diantaranya SDN Kembangringgit II, SMPN 1 Mojosari, SMAN 1 Sooko dan melanjutkan ke jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2014 melalui jalur SNMPTN. Penulis terdaftar dengan NRP 04211440000031. Selama berada di bangku perkuliahan, penulis mengikuti beberapa kegiatan yang diadakan Himpunan Teknik Sistem Perkapalan, dan aktif di organisasi karang taruna Kabupaten Mojokerto. Pada tahun keempat berkuliah, penulis mengambil konsentrasi Tugas Akhir di bidang studi *Marine Power Plant* (MPP) dan juga menjadi Asisten Lab untuk kegiatan praktikum mata kuliah bidang MPP. Pengalaman Kerja Praktek yang pernah ditempuh penulis antara lain di PT Dok dan Perkapalan Surabaya dan PT. PJB Unit Gresik Jawa Timur. Selama semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk menyelesaikan Tugas Akhir di Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) dan Getaran Mesin.